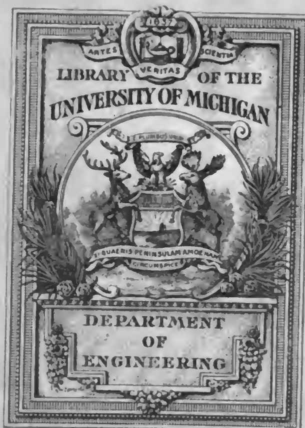


Telegraphen- und Fernsprechkabelanlagen

Carl Stille


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

TELEGRAPHEN-

UND

FERNSPRECHKABELANLAGEN

TELEGRAPHEN-

UND

FERNSPRECHKABELANLAGEN

VON 

C. STILLE

TELEGRAPHENINSPEKTOR IN BERLIN

MIT 163 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF EINER TAFEL

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDR. VIEWEG & SOHN

1911



VORWORT.

Während die Literatur über die Telegraphen- und Fernsprechtechnik etwa seit Ende des vorigen Jahrhunderts in Deutschland immer mehr an Umfang und Reichhaltigkeit zugenommen hat, ist auf einem Teile dieses großen Anwendungsgebietes der Elektrotechnik eine Lücke fühlbar geblieben, nämlich der Mangel einer zusammenfassenden Arbeit über die der Nachrichtenvermittelung dienenden Kabelanlagen. Das Fehlen einer solchen Arbeit wurde um so mehr empfunden, als ohne die Erfolge der Kabeltechnik die gewaltigen Fortschritte, die namentlich das Fernsprechwesen in den letzten beiden Jahrzehnten genommen hat, gar nicht möglich gewesen wären. Wohl wurde in einigen verdienstvollen Werken die eigentliche Konstruktion der Kabel behandelt, doch ist eine Darstellung des sonstigen Zubehörs der Schwachstromkabelanlagen in keinem Werke der deutschen Fachliteratur zusammenhängend gegeben worden.

Zunächst sei erwähnt das im Jahre 1897 erschienene Buch von Hugo Wietz „Die isolierten elektrischen Leitungsdrähte und Kabel"; dieses Werk entspricht jedoch nicht mehr dem heutigen Stande der Technik und beschränkt sich im übrigen auch lediglich auf die Kabel selbst. Ein in weiten Kreisen der Elektrotechnik wohl bekanntes Buch von Dr. C. Baur „Das Elektrische Kabel", das erst kürzlich umgearbeitet und vervollständigt in zweiter Auflage herausgegeben worden ist, soll in der Hauptsache den Schwierigkeiten abhelfen, mit denen der Kabelfabrikant zu kämpfen hat, und ist seiner ganzen Anlage nach vornehmlich auf die Starkstromkabeltechnik zugeschnitten; jedoch sind in diesem Werke auch den Schwachstromkabeln, allerdings wesentlich vom Standpunkte des Kabelingenieurs aus, einige Abschnitte gewidmet.

Dem Schwachstrompraktiker kann aber die Kenntnis der Konstruktion der Kabel allein nicht genügen, die Schwachstromkabelpraxis erfordert außerdem eine genaue Kenntnis der zweckmäßigsten Verlegungs- und Aufteilungsmethoden, wie sie durch die Erfahrungen vieler Versuchsjahre ausgebildet worden sind. Es seien nur kurz erwähnt die unterschiedlichen

Methoden zur Verteilung der Kabel, die mannigfachen Kabelkanalanlagen, die Abschluß- und Verteilermaterialien, die vielfach verschiedenen Verspleißungen und dazu neuerdings der Einbau von Selbstinduktionsspulen in Fernsprechkabel, die zahlreichen Vorrichtungen und Geräte zum Verlegen der Kabel, darunter in erster Linie die Kabelwinden, weiter die Drucklufteinrichtungen, die verschiedenartigen Prüfverfahren und anderes mehr.

So stellt sich das gesamte Gebiet der Telegraphen- und Fernsprechkabeltechnik als ein derartig umfangreiches Feld vielseitiger praktischer und wissenschaftlicher Tätigkeit dar, daß es kaum noch möglich ist, die in Betracht kommenden Materialen, Konstruktionen und Arbeitsmethoden im Rahmen eines einzelnen Buches ausreichend zu erörtern. Wenn ich trotzdem einer an mich ergangenen Aufforderung, eine Übersicht über den jetzigen Stand dieser Kabeltechnik zu geben, Folge geleistet habe, so ist dieses geschehen einerseits aus der Überzeugung von der Notwendigkeit einer solchen Arbeit und andererseits in dem Vertrauen, die aus dienstlicher Beschäftigung und persönlicher Neigung gewonnenen Erfahrungen und Kenntnisse damit auch für weitere Kreise verwerten zu können.

Die vorliegende Arbeit soll im allgemeinen das gesamte Gebiet der Telegraphen- und Fernsprechkabel- und Kanaltechnik in ihren Entwickelungsgängen und grundsätzlichen Anforderungen darstellen. Es ist zwar mit Rücksicht auf eine zweckmäßige Beschränkung des Umfanges des Buches nicht möglich gewesen, die überhaupt in Betracht kommenden Fragen sämtlich eingehend zu erörtern, jedoch sind die besonders wichtigen Punkte ausführlich besprochen und viele andere kürzer behandelt oder doch wenigstens erwähnt worden. Außer Betracht geblieben sind die Unterseekabel, da über deren Konstruktion und Verlegung von der Verlagsanstalt demnächst eine besondere Arbeit herausgegeben werden soll. Auch die elektrischen Meßverfahren konnten mit Rücksicht auf das vor einiger Zeit erschienene Werk von H. Dreisbach „Die Telegraphen-Meßkunde“ von der Besprechung zurückgestellt werden.

Von vornherein möchte ich darauf hinweisen, daß nicht etwa eine bis ins einzelne gehende Anweisung zur Ausführung der praktischen Bauarbeiten gegeben werden soll. Die Arbeit ist ihrer ganzen Anlage und Bestimmung nach auch nicht eine theoretische Darstellung technischer Anforderungen und Bedingungen für die im Kabelbetriebe zu verwendenden Materialien und Konstruktionen, sie ist vielmehr in der Hauptsache eine aus der Praxis entstandene und den Bedürfnissen der Praxis angepaßte Zusammenfassung der bisherigen Versuche und Erfahrungen. Allgemeine theoretische Erörterungen sind nur soweit im

ersten Abschnitt kurz, ohne mathematische Entwickelungen, gegeben worden, als sie in ihren praktischen Folgerungen für die Konstruktion von Kabeln von Bedeutung sind. Auf eine eingehende Behandlung der Theorie hat um so mehr verzichtet werden können, als die wissenschaftlichen Grundlagen für den Bau von Kabeln in dem bereits erwähnten Buche von Baur eingehend behandelt und auch in dem kürzlich erschienenen Werke von Prof. Dr. Breisig „Theoretische Telegraphie“ hinsichtlich ihrer Folgerungen auf den Betrieb einer ausführlichen Würdigung unterzogen worden sind. Dafür ist aber besonderer Wert darauf gelegt worden, die einzelnen Konstruktionsweisen nach ihren Grundzügen darzulegen, einen Überblick über den jetzigen Stand und die modernen Einrichtungen der Schwachstromkabeltechnik zu geben und die Notwendigkeiten und Aussichten ihrer ferneren Entwickelung zu erörtern. Hierbei ist bei den im einzelnen gegebenen Begründungen für die verschiedenen Konstruktionen in erster Linie auf die praktischen Bedürfnisse und die Erfahrungen des Betriebes zurückgegangen worden. Es soll dem Leser die Möglichkeit geboten werden, sich an der Hand der aufgestellten Leitsätze, der Vergleiche zwischen den mannigfachen Materialien usw. und der in geeigneten Fällen gegebenen weiteren Anregungen ein Urteil über die Zweckmäßigkeit und auch über die Wirtschaftlichkeit bestehender und neuer Einrichtungen zu bilden. Die außerhalb der Reichs-Telegraphenverwaltung (R. T. V.) vorhandenen und vielfach auch grundsätzlich abweichenden Konstruktionen sind, soweit erforderlich, berücksichtigt und vergleichsweise kritisch besprochen worden. Die Schwierigkeiten lagen hierbei besonders in der Fülle des Stoffes, da zum Teil recht umfangreiche fremdsprachliche Bearbeitungen der einzelnen Anwendungszweige der Schwachstromkabeltechnik vorhanden sind. Es konnten daher hiervon, wie überhaupt bei der ganzen Behandlung der verschiedenen Fragen, immer nur die wirklich charakteristischen Einrichtungen dargestellt und nach ihren wesentlichen Gesichtspunkten erläutert und miteinander verglichen werden.

Durch zahlreiche Hinweise auf die einschlägige Literatur und auf die entsprechenden Stellen des Buches selbst, sowie durch ein recht ausführliches Sachregister hoffe ich die praktische Verwendbarkeit des Buches gefördert zu haben. Die hauptsächlich in Betracht kommenden Werke und Zeitschriften sind hierunter zusammengestellt worden; auf ihre jedesmalige genaue Bezeichnung in den Fußnoten konnte daher verzichtet werden.

Das hiermit der Öffentlichkeit übergebene Buch ist zwar in erster Linie zum Gebrauche für die Beamten und Ingenieure bestimmt, welche beruflich mit Kabelanlagen für Telegraphen- und Fernsprechzwecke

Befassung haben; es soll aber auch denjenigen, welche sich mit Verbesserungen und neuen Konstruktionen beschäftigen wollen, manchen praktischen Hinweis geben, und es wird auch vielleicht anderen Behörden und Unternehmern, die zu ihrem Betriebe unterirdischer Anlagen für die Nachrichtenvermittelung bedürfen, eine Unterlage für die zweckmäßige Ausgestaltung ihrer Einrichtungen bieten können.

Zum Schluß habe ich noch Pflichten des Dankes zu erfüllen. Diesen darf ich zunächst denjenigen industriellen Werken aussprechen, welche mich durch weitgehendes Entgegenkommen bei Besichtigung ihrer Anlagen, durch fabriktechnische Mitteilungen, sowie durch Anfertigung und Überlassung von Zeichnungen und Klischees unterstützt haben; hiervon seien besonders genannt die Siemens & Halske-A.G. und die Siemens-Schuckert-Kabelwerke in Nonnendamm bei Berlin. Ferner habe ich mehreren Fachgenossen für freundliche Ratschläge bei Auswahl und Behandlung des Stoffes meinen Dank zu sagen; namentlich gilt dieses Herrn Telegrapheningenieur Pinkert in Hamburg, sowie auch Herrn Telegrapheninspektor Gieß in Berlin für seine Hilfe beim Korrekturlesen. Ebenso bin ich auch der Verlagsbuchhandlung für die auf die Drucklegung des Buches verwendete Sorgfalt zu Dank verpflichtet.

Berlin, im Januar 1911.

C. Stille.

Literatur.

Telegraphenbauordnung des Reichs-Postamts, Berlin 1901.
Mitteilungen aus dem Telegraphen-Versuchsamt des Reichs-Postamts, Berlin, Bd. I bis V.
Vorschriften für die Herstellung von Telegraphen-, Telephon- und Rohrpostlinien, Wien 1901.
C. Baur, Das elektrische Kabel, 2. Aufl., Berlin 1910.
Hugo Wietz, Die isolierten elektrischen Leitungsdrähte und Kabel, Leipzig 1897.
H. Dreisbach, Die Telegraphenmeßkunde, Braunschweig 1908.
K. Strecker, Hilfsbuch für die Elektrotechnik, 7. Aufl., Berlin 1907.
F. Breisig, Theoretische Telegraphie, Braunschweig 1910.
Franz Clouth, Gummi [1]), Guttapercha und Balata, Leipzig 1899.
Eugen Obach, Die Guttapercha, Dresden 1899.
Comptes rendus de la première conférence internationale des techniciens des Télégraphes et Téléphons, Budapest 1898.
A. V. Abbot, Telephony, New York 1903. Part. II, Construction of underground conduits. Part. III, The cable plant.
T. E. Herbert, Telegraphy, London 1906.
W. C. Owen, Telephone Lines, London 1903.
Kempster B. Miller, American Telephone Practice, 4. Aufl., New York 1905.
Coyle and Howe, Electrical cables, their construction and cost, London 1910.
Munro and Jamieson, Pocket-book of electrical rules, 16. Aufl., London 1903.

Zeitschriften.

Archiv für Post und Telegraphie, Berlin; Beihefte zum Amtsblatt des Reichs-Postamts.
Elektrotechnische Zeitschrift (E. T. Z.), Berlin.
Blätter für Post und Telegraphie, Berlin.
Zeitschrift für Schwachstromtechnik, München.
Zeitschrift für Post und Telegraphie, Wien.
Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien.
Journal télégraphique, Bern.
Telephony, The American Telephone Journal, Chicago.
Electrical World, New York.
La Lumière Electrique, Paris.

[1]) Als neuere Werke sind ferner zu nennen:
R. Ditmar, Die Analyse des Kautschuks, der Guttapercha, Balata und ihrer Zusätze, Leizpig 1909.
Hinrichsen u. Memmler, Der Kautschuk und seine Prüfung, Leipzig 1910.

INHALTSÜBERSICHT.

Zweiter Abschnitt.

Die wichtigsten Isolierstoffe der Kabel.

Dritter Abschnitt.

Konstruktion der Kabel.

Vierter Abschnitt.

Grundzüge für die Anlage von Kabelnetzen.

Fünfter Abschnitt.

Kabelkanalanlagen.

Sechster Abschnitt.

Die Verlegung der Kabel.

Siebenter Abschnitt.

Kabelspleißung.

Achter Abschnitt.

Abschluß der Kabel.

Neunter Abschnitt.

Drucklufteinrichtungen.

Erster Abschnitt.

Allgemeines über Kabel.

Einleitung.

Aus dem Bedürfnisse heraus, telegraphische Verbindungen zwischen Punkten herzustellen, zwischen denen Freileitungen nicht möglich waren, teils auch aus dem Bestreben, die oberirdischen Drähte den ihnen von Wind, Wetter oder böswilligen Menschen drohenden Gefahren zu entziehen und den Bestand der Telegraphenanlagen besser zu sichern, hat sich die Kabeltechnik allmählich aus kleinen Anfängen zu der jetzigen Höhe entwickelt. Die zahlreichen Versuche [1]) zur Konstruktion geeigneter Kabelleitungen sollen aber im einzelnen hier nicht besprochen werden. Soweit frühere Ausführungsformen für die Ausgestaltung der jetzt gebräuchlichen Typen von Einfluß gewesen sind, wird in dem Abschnitt III über die Konstruktion der Kabel [2]) an geeigneten Stellen darauf eingegangen werden.

Die wichtigste Forderung an eine Kabelleitung besteht darin, daß der elektrische Strom von der Sendestelle möglichst ungeschwächt und unverändert bis zu dem Ort gelangt, wo er die Empfangsapparate betätigen soll. Die Telegraphier- und Sprechströme werden bekanntlich nicht unverändert durch die Leitungen vom Sender zum Empfänger übertragen; sie erleiden vielmehr Veränderungen, die um so mehr hervortreten, je schneller die Stromstöße einander folgen. Derartige Veränderungen sind in Kabeln viel stärker als in oberirdischen Leitungen. Es ist aber nicht nötig, solche Veränderungen gänzlich zu vermeiden, denn jede Apparatgattung und Betriebsart läßt ein bestimmtes, für sie noch unschädliches Maß von Stromverzerrung zu. Manche Telegraphenapparate geben z. B. schon bei jedem An- und Absteigen des Stromes ein Elementarzeichen wieder, verlangen also nur, daß ein An- und Abschwellen überhaupt bemerkbar wird. Andere brauchen zur Bildung des Zeichens ein Ansteigen und Abfallen des Stromes bis zu gewissen Grenzwerten. Dieses ist bei langen Kabeln um so schwerer zu erreichen, je kürzer die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stromstößen sind. Fernsprechapparate endlich fordern, daß alle zum Hören nötigen Sprechwechselströme

[1]) Näheres über die historische Entwickelung der Kabel zu ersehen aus Wietz. S. 1 ff. — [2]) Sehr wertvolle Angaben allgemeiner Art über die Konstruktion und Berechnung von Kabeln — sowie viele Einzelangaben über spezielle Kabelausführungen — sind enthalten in dem neuen Werke von Coyle and Howe „Electric Cables, their construction and cost“, London, 1910. Diese verdienstvolle Arbeit (456 Seiten) kann bestens empfohlen werden; sie enthält eine große Anzahl übersichtlicher und interessanter Tabellen.

(von etwa 200 bis 1000 Schwingungen in der Sekunde) nahezu gleich gut übertragen werden.

Hieraus folgt, daß die Anforderungen an Kabelleitungen nicht einheitlich gestellt werden können, daß sie vielmehr je nach der Betriebsweise, für die das Kabel bestimmt ist, nach der Empfindlichkeit der Empfangsapparate und der Geschwindigkeit der Zeichenfolge sehr verschieden ausfallen werden. Man wird sich aber bei allen Erwägungen über die Konstruktion und Auswahl von Kabeltypen nicht nur von der Frage leiten lassen dürfen, was vom technischen Standpunkt aus für jede Betriebsart zu fordern ist, es werden sich vielmehr die Überlegungen ebensosehr auch darauf zu richten haben, wie weit man diesen Forderungen im Einzelfall nachgeben kann, ohne unwirtschaftlich zu handeln.

Weiter liegt ein Umstand, der erhebliche Verschiedenheiten in den Anforderungen an die Kabelleitungen bedingt, darin, daß zwischen zwei miteinander zu verbindenden Punkten bald eine einzige Leitung genügt, bald wieder mehrere Hunderte von Drähten gezogen werden müssen. Während die Herstellung eines einadrigen Kabels verhältnismäßig einfach ist, sind für mehradrige Kabel noch wesentlich andere Gesichtspunkte maßgeblich. Die Zahl der Adern darf aber auf die spätere Verlegung der Kabel keinen ungünstigen Einfluß haben, die einzelnen Leitungsadern müssen bei der Handhabung der Kabel mechanisch gegeneinander gesichert sein, und die elektrischen Vorgänge in den einzelnen Leiterkreisen sollen die übrigen Betriebsleitungen des Kabels nicht störend beeinflussen.

Die Kabel bestehen hauptsächlich aus drei Konstruktionselementen, die je nach der Zweckbestimmung des einzelnen Kabels sehr verschiedenartig sind. Das erste und wesentlichste Element ist der metallische Leiter, der die elektrischen Ströme übermittelt. Zweitens bedarf jede Kabelleitung einer besonderen, sie von der Umgebung isolierenden Hülle, welche mit dem Leitungsdraht die eigentliche Kabelader darstellt. Drittens müssen diese isolierten und gemeinsam verseilten Leitungsadern, die zusammen die Kabelseele bilden, noch gegen äußere Einflüsse durch irgendwelche besondere Schutzvorkehrungen gesichert werden. Ein Kabel besteht also aus Leitungen, Isolierhüllen und Schutzbekleidung.

Im erweiterten Sinne sind unter Kabelleitungen auch isolierte Leitungen ohne Armatur zu verstehen. Eine äußere Schutzhülle ist also kein notwendiges Merkmal für den Begriff „Kabel".

Die allgemeinen Anforderungen an Kabel kann man kurz in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Die elektrischen Eigenschaften sollen den Erfordernissen des Betriebes, dem das Kabel dient, ausreichend genügen, so daß unzulässige Stromveränderungen vermieden werden.

2. Die einzelnen Kabelleitungen sollen nach Maßgabe der Anforderungen der verschiedenen Betriebsweisen voneinander unabhängig sein, d. h. sie dürfen sich nicht störend beeinflussen.

3. Die Art der mechanischen Konstruktion muß genügende Festigkeit für das Verlegen der Kabel und möglichst vollständigen Schutz gegen äußere Beschädigungen gewährleisten.

4. Die äußeren Abmessungen und die Zahl der Adern dürfen nicht die Grenzen überschreiten, welche durch den Zweck und die Verlegungsart der einzelnen Kabeltypen gegeben sind.

5. Die für die Konstruktion der Kabel gewählten Materialien müssen ein dauerhaftes Erhalten der geforderten elektrischen Eigenschaften gewährleisten und sollen selbst keiner schädlichen Veränderung oder gegenseitigen Beeinflussung unterworfen sein.

6. Die zur Erzielung dieser Forderungen aufzuwendenden Mittel müssen sich im Verhältnis zu den erstrebten Vorteilen in wirtschaftlich zulässigen Grenzen halten.

Wie weit diese Bedingungen erfüllt sind oder erfüllt werden können, wird später im einzelnen erläutert werden. Es mag jedoch schon hier erwähnt werden, daß es in manchen Fällen bei der Beurteilung oder Vergleichung der von den Kabelfirmen vorgelegten Muster und Veranschlagungen zweckmäßig ist, nicht nur die äußersten technischen Anforderungen des Betriebes zu berücksichtigen, sondern daß es auch berechtigt und sogar geboten sein kann, zugunsten einer vorteilhafteren Fabrikationsmethode gewisse Einschränkungen nachzulassen. Die Hauptsache ist, daß ein Kabel bei langer Lebensdauer und angemessenem Preise den Betriebs- und Verlegungsbedingungen der Praxis genügt. Wie im einzelnen die Fabrikanten die geforderten Eigenschaften erreichen, wird ihnen bei dem heutigen Stande der Kabeltechnik zum Teil — namentlich, soweit der mechanische Aufbau der Kabel in Betracht kommt — mit gutem Vertrauen zu überlassen sein, damit nicht auf die individuelle Entwickelung und Einrichtung der Werke ein unnötiger Zwang ausgeübt wird. Die Kabelwerke haben selbst das größte Interesse an einer zweckmäßigen Konstruktion ihrer Kabel, da ihnen ungeeignete ohne weiteres wieder zur Verfügung gestellt werden können, und da die gegenseitige Konkurrenz sowieso schon zur günstigsten und besten Fabrikation zwingt.

Die Leistung eines Telegraphen- oder Fernsprechkabels ist bedingt durch den elektrischen Widerstand der Leiter, durch den Isolationswiderstand der die Leiter umgebenden Hüllen und durch die Ladungsfähigkeit der Kabeladern. Weiter kommen noch die elektrische Festigkeit der Leiterdecke und die Selbstinduktion des Leiters in Betracht. Auf die elektrischen Eigenschaften soll in den folgenden Ausführungen dieses Abschnittes aber nur so weit eingegangen werden, als sie für die Konstruktion der Kabel von Wichtigkeit sind. Wie weit noch eine besondere Erscheinung, die gegenseitige Induktion[1]), in Frage kommt und bestimmend auf den Bau von Kabeln einwirkt, wird bei Besprechung der betreffenden Kabeltypen gezeigt werden.

Der Leitungsdraht[2]).

Als Material für die Leitungsadern der Kabel dient allgemein elektrolytisch gewonnenes Kupfer[3]) bester Leitfähigkeit. Je reiner das Leitungskupfer gewählt wird, desto weicher und dehnbarer ist es; schon ganz geringe Beimengungen anderer Metalle oder sonstiger Stoffe können es brüchig

[1]) Näheres bei Breisig, Theoretische Telegraphie. III. Teil, 5. Abschnitt. — [2]) Zu vgl. Wietz, S. 20 ff. u. S. 148 ff. — [3]) Näheres bei Coyle and Howe, S. 50.

und auch elektrisch weniger geeignet machen. Wenn in ganz geringem Maße, soweit die elektrischen und mechanischen Anforderungen es überhaupt zulassen, gewisse Beimengungen (andere Metalle, Kohle, Phosphor, Arsen, auch eigene Oxydationsstufen) zu dem chemisch reinen Kupfer gestattet werden, so ist dieser Nachlaß mit Rücksicht auf die Kosten geboten, da die Fabrikanten für die vollständige Entfernung solcher natürlichen Beimengungen im Verhältnis zu dem dadurch erzielten Vorteil unnötig hohe Aufwendungen machen und so die ganze Fabrikation kostspieliger gestalten müßten. Die Kupferdrähte müssen nach dem Ziehen gut ausgeglüht werden, um die erforderliche gleichmäßige Weichheit und Biegsamkeit zu erzielen.

Ferner ist eine genügende Festigkeit des Materials zu fordern, damit die Leiter die beim Durchgange durch die Maschinen und später auch beim Verlegen auftretenden Zugbeanspruchungen ohne Gefahr des Zerreißens oder einer Abnahme des Querschnittes aushalten können. Eine wichtige Folgerung hieraus ist, daß der Leiter überall einen gleichmäßigen kreisrunden Querschnitt haben muß. Abweichungen dürfen nur in geringen Grenzen zugelassen werden (nach den Lieferungsbedingungen der R. T. V. sind allgemein $\pm$ 5 Proz. zugestanden). Die Zugfestigkeit des aus Leitungskupfer hergestellten und geglühten weichen Drahtes kann durchschnittlich mit ungefähr 30 kg pro qmm angenommen werden. Bei dieser Bruchspannung — d. h. etwa 15 kg für den 0,8 mm starken Draht — wird im allgemeinen der Draht reißen; als Grenze der zulässigen Beanspruchung werden daher rd. 7 bis 8 kg für 1 qmm nicht überschritten werden dürfen. Die Dehnung beim Reißen, d. h. das Verhältnis der Verlängerung zu der ursprünglichen Länge, beträgt etwa 30 v. H. Auch die Biegungsfestigkeit der Kupferadern wird beim Herstellen der Spleiß- und Abschlußstellen vielfach in Anspruch genommen. Diese ist jedoch bei Erfüllung der sonstigen Bedingungen schon ausreichend gewährleistet und wird daher nur selten (z. B. nach der Zahl der mindest zulässigen Torsionen oder Biegungen im rechten Winkel) vertragsmäßig festgelegt. Die R. T.V. hat von einer solchen Vertragsbestimmung Abstand genommen.

Die Leitungsadern müssen je für sich ein fest zusammenhängendes Ganzes bilden; etwa notwendige Verbindungsstellen sollen mit dem besten Material (in der Regel mit reinem Silber) zusammengelötet werden, so daß die Lötstelle jedenfalls dieselbe Festigkeit und keinen höheren elektrischen Widerstand als das sonstige Material besitzt. Die Oberfläche der Drähte muß gleichmäßig glatt und frei von Rissen, Schuppen, Buckeln oder anderen Mängeln sein. Auf die Herstellung der Kupferdrähte kann hier nicht näher eingegangen werden. Die Kabelfabriken kaufen das Leitungskupfer meistens in Barren und verarbeiten dasselbe dann weiter nach eigenen Verfahren; zuweilen werden die ungeglühten Drähte allerdings auch fertig von fremden Drahtziehereien bezogen.

Das spezifische Gewicht[1]) des Kupfers schwankt je nach Reinheit und Herstellungsverfahren etwa zwischen 8,89 und 8,95; nach den Vorschriften[2]) des Verbandes Deutscher Elektrotechniker soll für Untersuchung

[1]) Wietz, S. 21. — [2]) Strecker, Hilfsbuch, S. 923. Die englischen Kupfernormalien sind zu ersehen: Munro and Jamieson's pocket-book of electrical rules, London. 16. Aufl., S. 266.

des Leitungskupfers der Wert 8,91 zugrunde gelegt werden[1]). Da diese Verbandsvorschriften in ihrer jeweiligen Fassung als Norm der Lieferungsbedingungen der R. T. V. für das Kabelkupfer gelten sollen, so wird mit dieser Zahl zu rechnen sein.

Die Stärke der Drähte wird in den Ländern mit metrischem Maßsystem nach dem Durchmesser in mm oder Bruchteilen des mm oder auch nach dem Querschnitt in qmm angegeben.

Abweichend hiervon sind in England[2]) und Amerika vier verschiedene Arten Bezeichnungen gebräuchlich. Da diese Angaben vielfach zu Vergleichszwecken herangezogen werden, so sollen einige kurze Hinweise darüber gemacht werden. Die am allgemeinsten übliche Bezeichnung erfolgt nach Lehren, von denen verschiedene — je nach besonderen Grundsätzen und praktischen Erfahrungen aufgestellt — verwendet werden. Die beiden hauptsächlich in Betracht kommenden Lehren[3]) sind die Brown-and-Sharp-Gauge[4]) (B. & S.-G., Amerika) und die Imperial-Standard-Wire-Gauge (England). Nach solchen Lehren werden die Kabel einfach nach Nummern der Tabellen angegeben, die mit steigender Höhe kleineren Drahtdurchmessern (in Teilen vom Zoll) entsprechen.

Neuerdings wird vielfach dafür eingetreten, an Stelle dieser Bemessung nach Lehren die Drahtstärke nach mils — Tausendstel Zoll —, also nach direkten Größenverhältnissen anzugeben, wenn auch weniger nach dem Durchmesser, als nach der Größe des Querschnittes in circular mils[5]) — 1 circular mil gleich der Fläche eines Kreises von 1 mil Durchmesser —. Die Einführung einer solchen neuen Kreisgröße ist insofern vorteilhaft, als die Inhaltsberechnung

---

[1]) Die Prüfung, ob das Material aus Leitungskupfer von dem vorgeschriebenen Querschnitt besteht, erfolgt in Anlehnung an § 3 der Verbandsvorschriften in der Weise, daß der Querschnitt durch Gewichtsbestimmung eines einfachen 1000 mm langen, gerade gerichteten Leiterstückes nach Entfernen des Zinnüberzuges (durch Einlegen in Salzsäure) ermittelt wird, wobei als spezifisches Gewicht 8,91 anzunehmen ist. — [2]) Englische Maße: 1 engl. Pfund (lb) (= 16 Unzen) = 0,454 kg; 1 kg = 2,203 lb; 1 Seemeile = 1855,11 m; 1 Landmeile (statute mile) = 1609,31 m; 1 engl. Fuß = 0,3048 m; 1 engl. Zoll (inch) = 2,540 cm; 1 yard (= 3 Fuß) = 0,914 m; 1 km = 0,6214 statute mile = 0,5391 Seemeile; 1 m = 3,281 engl. Fuß = 39,371 engl. Zoll; 1 cm = 0,394 engl. Zoll; 1 Seemeile = 1,153 statute miles.

Temperatur:

$$C = \frac{5}{9}(F - 32^0)$$

$$F = 32^0 + \frac{9}{5}C.$$

— [3]) Über Lehren zu vgl. Kempster B. Miller, S. 757 ff.; auch Strecker, Hilfsbuch, S. 8; daselbst sind Vergleichstabellen gegeben (B. & S.-G. bei Miller, S. 757; Standard bei Strecker, S. 8); ferner Munro and Jamieson, S. 68 ff., sowie Coyle and Howe, S. 59 ff. — [4]) Für das Gedächtnis ist wertvoll Nr. 10 der B. & S.-G. (0,1 Zoll Durchmesser), 1000 Fuß haben 1 Ohm Widerstand. Die Standard-Nr. für amerikanische Fernsprechkabel ist Nr. 19 (etwa 0,91 mm Durchmesser), außerdem werden vielfach Nr. 20 und 22 verwendet. Es entsprechen etwa unseren 0,8, 1, 1,5 und 2 mm-Drähten die Nr. 21, 18, 15 und 13 der B. & S.-G.; genaue Vergleiche sind bei der Eigenartigkeit des Aufbaues der Tabellen nicht möglich. Die Höchstwiderstände der amerikanischen Kabel der Nr. 22, 20 und 19 sollen betragen 95, 60 und 47 Ohm pro Meile (Miller, S. 809). — [5]) Kempster B. Miller, S. 753. Es ist 1 circular mil = 0,000506 mm². Vergleichszahlen sind z. B.: 0,6 mm = 23,6 mils; 0,8 mm = 31,5 mils; 1,0 mm = 39,4 mils; 1,5 mm = 59,1 mils; 2,01 mm = 79 mils.

einer Kreisfläche wegen der Zahl π niemals rationale Zahlenwerte ergibt. Die Kreisgrößen sind jedenfalls zu Vergleichszwecken recht übersichtlich und zweckmäßig. Eine wesentlich andere Grundlage für die Angabe von Kabeltypen ist die Bezeichnung nach Kupfergewicht in lb für die Längeneinheit (in der Regel statute miles oder auch nach Seemeilen [1]), seltener nach 1000 Fuß). Aus diesen Zahlen läßt sich unter Einführung des Wertes für das spezifische Gewicht der Aderdurchmesser in mm berechnen [2]), auch ist der Leitungswiderstand [3]) aus diesen Werten abzuleiten. Ebenfalls mit Bezug auf die Länge ist noch eine vierte Art der Vertragsbezeichnung gebräuchlich. Der elektrische Widerstand ist umgekehrt proportional dem Querschnitt; außerdem hängt das Kupfergewicht von dem Querschnitt ab. Hieraus folgt, daß für eine gewisse Längeneinheit auch der Widerstand zu dem Gewicht in einem bestimmten Verhältnis stehen wird. Zur Bemessung und Vergleichung von Kabeln ist daher der Begriff des Gewichts für das Meilenohm [4]) eingeführt,

---

[1]) Vergleichszahlen bei Coyle and Howe, S. 53. — [2]) Zu vgl. Strecker, Hilfsbuch, S. 7, ferner Blätter für Post und Telegraphie, IV. Jahrg., S. 107. Die Formel für den Durchmesser in Millimeter ist

$$d = \sqrt{\frac{453{,}59 \,.\, G \,.\, 4}{1609 \,.\, 8{,}91 \,.\, \pi}}$$

bei engl. Meilen (statute miles) und spezif. Gew. von 8,91. — [3]) Vergleichszahlen für englische und amerikanische Kabel:

Bei einem Leitungswiderstande von 1 Ohm für	würde bei gleichem Durchmesser der Leitungswiderstand betragen ... Ohm auf die Länge von			
	1 km	1 Seemeile	1 engl. Meile	1000 engl. Fuß
1 km	1	1,855	1,609	0,305
1 Seemeile . . .	0,539	1	0,867	0,163
1 engl. Meile . .	0,621	1,153	1	0,189
1000 engl. Fuß . .	3,281	6,086	5,279	1

	Bei einem Kupfergewicht G in lb der Volldrähte für		
	1 Seemeile	1 engl. Meile	1000 engl. Fuß
beträgt der Durchmesser in mm	$0{,}186 \,.\, \sqrt{G}$	$0{,}2 \,.\, \sqrt{G}$	$1{,}46 \,.\, \sqrt{G}$
Querschnitt in qmm	$0{,}02723 \,.\, G$	$0{,}03145 \,.\, G$	$0{,}16573 \,.\, G$
Leitungswiderstand in Ohm . (bei 98 Proz. Leitfähigkeit des Kupfers und ohne Berücksichtigung der verschiedenen Normaltemperaturen)	$\frac{629{,}08}{G}$	$\frac{543{,}75}{G}$	$\frac{103{,}20}{G}$

Um die Widerstandswerte der englischen und amerikanischen Kabel auf die deutsche Normaltemperatur von 15° C zu bringen, müssen sie noch mit 0,998 bzw. 0,965 multipliziert werden, je nachdem die fremden Werte der Temperatur von 60° F oder 75° F entsprechen. — [4]) Kempster B. Miller, S. 753. Nach S. 265 bei Munro and Jamieson beträgt das Gewicht eines massiven Kupferdrahtes pro Seemeile $\frac{d^2}{55}$ lb und für 1 statute mile $\frac{d^2}{62{,}42}$ lb, d in mils (= 0,001 Zoll) bemessen.

dieses ist das Gewicht eines Leiters von 1 Meile Länge und 1 Ohm Widerstand und beträgt, bezogen auf chemisch reines Kupfer: 873,5 lb (= 396,6 kg).

Da die Lötstellen in den einzelnen Fabrikationslängen unter Umständen zu Drahtbrüchen Veranlassung geben können, und da es überhaupt nicht so leicht ist, längere Kupferdrähte herzustellen, welche auf der ganzen Länge frei von weicheren oder spröderen Stellen sind, so werden vielfach statt massiver Leiter Litzendrähte desselben Querschnittes vorgezogen. Hierdurch werden die Lötstellen und auch die schwächeren Stellen der Einzeldrähte auf verschiedene Stellen der Litze verteilt, so daß also bei einem Bruch in der Regel nicht gleich die ganze Ader unbrauchbar wird. Die Litzen werden erst von etwa 1 qmm Querschnitt ab verwendet und bei mäßigem Querschnitt auch nur dann, wenn die besondere mechanische Empfindlichkeit der Isolierhülle (Guttapercha), die etwa an sich besonders hohen Fabrikations- oder Verlegungskosten oder die geringe Zahl der Leitungsadern eine solche Maßnahme zur größeren Sicherheit erforderlich erscheinen lassen. Litzendrähte sind nämlich in ihrer Fabrikation teurer, sie haben aber dafür den Vorteil größerer Biegsamkeit.

Bei der Konstruktion von Litzen ist nächst der Größe des geforderten Kupferquerschnittes die Frage der Raumausnutzung von besonderer Wichtigkeit, damit der Gesamtquerschnitt nicht zu groß wird. Es sollen sowohl im Innern zwischen den Einzeldrähten als auch an der Peripherie möglichst wenig Hohlräume entstehen, da mit wachsendem Querschnitt die Kosten für das Isoliermaterial steigen und die Kabel unnötig stark und schwer, sowie höher im Preise werden. Die Litze besteht entweder aus 7 gleich starken Drähten [1]) (1 Mitteldraht und 6 Außendrähte) oder teilweise bei Seekabeln aus einem stärkeren Mitteldraht und einer größeren Anzahl dünner Außendrähte. Der Kupferquerschnitt einer 7drähtigen Litze [2]) beträgt 77,8 v. H. von dem Flächeninhalt des um die Litze geschlagenen Kreises, der Durchmesser dieses Kreises ist der 3fache des Einzeldrahtdurchmessers. Theoretisch ist der Kupferquerschnitt einer solchen Litze nicht gleich dem 7fachen desjenigen eines Litzendrahtes. Durch den zur Verseilung erforderlichen Drall erhalten die sechs äußeren Drähte eine etwas geneigte Lage zur Litzenachse, so daß der zu dieser Achse senkrechte Querschnitt sechs Ellipsen zeigt, deren kleiner Durchmesser dem Kreisdurchmesser der Drähte entspricht. Der Gesamtquerschnitt [3]) ist also ein wenig größer, er wird aber um so weniger von dem vorher bestimmten Wert abweichen, je größer die Drallhöhe der Einzeldrähte ist. Diese Vergrößerung ist praktisch ganz zu vernachlässigen, wenn die Drallhöhe etwa 15 Kaliber [4]) (d. h. Durchmesser des Einzeldrahtes) und mehr beträgt. Durch die Verseilung erhalten die äußeren Drähte eine größere Länge, zunehmend mit der Zahl der Umgänge auf die Längeneinheit. Beträgt die Steigehöhe z. B. 20 [5]) Kaliber, so sind die Länge und das Gewicht

---

[1]) Wegen Gewichte der Kupferlitzendrähte s. das mehrfach erwähnte Nachschlagebuch von Munro and Jamieson, S. 300, bezogen auf englische Maße; ferner allgemein über Litzendrähte auch Coyle and Howe, S. 47 ff., sowie bei Breisig, S. 50. — [2]) Wegen der Zahl der Litzendrähte sind auch die weiter unten bei Besprechung der Verseilung der Kabel gemachten Angaben zu vergleichen. — [3]) Zu vgl. Wietz, S. 28; Baur, S. 86. — [4]) Baur, S. 105. — [5]) Dreisbach, Telegraphen-Meßkunde, S. 88.

der einzelnen äußeren Drähte das 1,012 fache des zentralen Drahtes und das Gewicht einer Kupferlitze das 7,074 fache dieses Drahtes.

Die gesamten Überlegungen und Versuche zur Gewinnung eines geeigneten Leitungsdrahtes laufen auf ein gemeinsames Ziel hinaus: Der Leiter soll bei einem Minimum von Querschnitt zugleich ein Minimum von elektrischem Widerstand haben. Die mechanische Festigkeit spielt eine viel geringere Rolle und ist überdies zum Teil mit obiger Forderung verknüpft. Der elektrische Widerstand eines Leiters ist gegeben durch seine Länge, seinen Querschnitt (allerdings nicht der Form, sondern dem Flächeninhalt nach) und durch den spezifischen Widerstand des verwendeten Materials. Der Leitungswiderstand wird mit

$$\frac{l}{q} \varrho \text{ Ohm}$$

berechnet, wenn l in m, q in qmm angegeben ist und ϱ den spezifischen Widerstand darstellt; dieser beträgt [1]) für Kupfer 0,018 bis 0,019 (bezogen auf Ohm).

Nach den auch für die Kabel der R. T. V. gültigen Vorschriften [2]) des Verbandes Deutscher Elektrotechniker soll der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 1 km Länge und 1 qmm Querschnitt bei 15° C keinen höheren Wert als 17,5 Ohm haben.

Von großer Bedeutung ist noch der Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderstand. Bei Angabe von Leitungswiderständen (z. B. bei Festlegung des Höchstwiderstandes in Lieferungsverträgen) muß daher stets diejenige Temperatur angegeben werden, auf welche sich dieser Wert bezieht. Als solche Normaltemperaturen, auf welche die elektrischen Widerstände in der Regel zurückgeführt werden, sind in Deutschland (nach den Verbandsvorschriften) und Österreich 15° C, in Frankreich 25° C, in England 75° F (23,89° C) und in Amerika 60° F (15,56° C) üblich. Der Widerstand der Metalle steigt und fällt mit der Temperatur, der Temperaturkoeffizient beträgt für Kupfer im Durchschnitt 0,004. Für praktische Zwecke genügt die — auch vom Verbande Deutscher Elektrotechniker als Norm für die Berechnung [2]) von Widerständen angenommene — Formel

$$R_{15} = \frac{R_t}{1 + 0{,}004\,(t - 15)}.$$

Man stellt für die Reduktion des Kupferwiderstandes von den einzelnen Temperaturen auf 15° C Tabellen [3]) auf (zu vgl. die Tabelle am Schluß dieses I. Abschnitts), nach denen dann der Widerstand leicht zu berechnen ist. Da

[1]) Tabelle über spezifische Widerstände s. Strecker, Hilfsbuch, S. 66. — [2]) Zu vgl. Strecker, Hilfsbuch, S. 923. — [3]) Der Kupferkoeffizient beträgt nach der Formel $\frac{1}{1 + 0{,}004\,(t - 15)}$ oder $\frac{250}{235 + t}$ (E. T. Z. 1906, S. 395). Entsprechend dem Koeffizienten 0,004 oder $^1/_{250}$ für 1° C beträgt derselbe 0,00222 oder $^1/_{450}$ für 1° F; die Formel lautet dann also (nach Dreisbach, S. 167) $\frac{1}{1 + 0{,}00222\,(t - 75)} = \frac{450}{375 + t}$ für Umrechnung von Fahrenheitgraden auf 75° F; daselbst sind auch die Koeffizienten zur Umrechnung des Kupferwiderstandes und des Guttaperchawiderstandes auf 75° F angegeben.

der Widerstand infolge der bei der Fabrikation der Kupferadern entstehenden kleinen Verschiedenheiten innerhalb gewisser Grenzen schwanken kann, so wird gewöhnlich in den Verträgen die hierfür zulässige Grenze angegeben; für die Kabel der R. T. V. werden allgemein 5 v. H. des vorgeschriebenen Höchstwertes nachgelassen.

Der Widerstand eines Litzendrahtes ist annähernd gleich der Summe der Leitungswiderstände der Einzeldrähte. Genau würde dieses jedoch nur zutreffen, wenn sämtliche Litzendrähte gleich lang wären. Außerdem verringern noch die mechanische Bearbeitung und die bei der Litzenbildung auftretende Spannung ein wenig die Leitfähigkeit. Man kann hiernach den Widerstand einer Litze nicht dem von einer gleichen Anzahl gleich langer, parallel geschalteter Drähte gleich setzen. Theoretisch läßt sich insofern noch ein Unterschied ableiten [1]), ob die Einzeldrähte sich auf der ganzen Länge innig berühren oder ob sie gegeneinander isoliert sind; in Wirklichkeit ist aber keines von beiden absolut der Fall. In der Praxis kommt jedoch für die Höhe des Widerstandes ausschlaggebend nur die durch den Drall entstandene Verlängerung der Außendrähte in Frage. Es kann der Widerstand einer normal konstruierten Kupferlitze aus sieben Einzeldrähten von gleichem Querschnitt etwa mit 2 v. H. höher als derjenige eines Volldrahtes von derselben Länge und gleichem Kupferquerschnitt angesetzt werden, oder anders ausgedrückt: der Widerstand der Litze ist das 0,1444 fache des mittelsten Einzeldrahtes [2]).

Für gewisse Zwecke wird eine Verzinnung der Kupferadern vorgeschrieben. Diese Maßnahme kommt zur Anwendung, um den Kupferleiter gegen den chemischen Einfluß der Isolierhüllen zu schützen, teilweise auch nur zu Unterscheidungszwecken der beiden Zweige einer Doppelleitung. Die Verzinnung kann entweder galvanisch erfolgen [3]) oder es wird die sogenannte Feuerverzinnung vorgenommen.

Das erste Verfahren ist eine Aufgabe der Galvanostegie, d. h. es soll auf das Kupfer ein festhaftender, mit ihm innig verbundener Überzug von Zinn auf elektrochemischem Wege gebracht werden. Zu diesem Zwecke werden die fertigen Kupferdrahtringe in ein Zinnbad gebracht und der Wirkung des elektrischen Stromes ausgesetzt. Die Zusammensetzung der Lösung, die Auswahl und gegenseitige Entfernung der Elektroden, die Höhe der Spannung und die Stärke des Stromes, sowie die Temperatur und die Dauer des ganzen Vorganges sind Sache der Erfahrung und durch die verschiedenen Verfahren und die beabsichtigte Stärke des Zinnüberzuges wechselnd bedingt. Es liegt auf der Hand, daß die Möglichkeit eintreten kann, daß in einem solchen Zinnbade einzelne Stellen des aufgeschossenen Kupferringes nicht gleichmäßig wie andere, oder überhaupt nicht verzinnt werden. Dieses Verfahren erfordert jedoch wenig Zeit und ist billig, kommt aber nur für Unterscheidungszwecke in Anwendung.

Dagegen ist die Feuerverzinnung verhältnismäßig teuer. Der Draht wird mittels einer Spannvorrichtung der Länge nach über Gleitrollen durch geschmolzenes Zinn hindurchgezogen und hierbei je nach der Geschwindigkeit

[1]) Zu vgl. Wietz, S. 153. — [2]) Dreisbach, S. 88. — [3]) Strecker, Hilfsbuch, S. 741; ferner Coyle and Howe, S. 87.

des Durchganges in mehr oder weniger starker Schicht mit dem Zinn bedeckt. Da aber immerhin doch noch einige Stellen ungleichmäßig verzinnt sein können, so wird in der Regel die doppelte Feuerverzinnung angewendet, d. h. der Draht wird noch ein zweites Mal durch geschmolzenes Zinn gezogen. Es ist aber wohl zu merken, daß dadurch der Draht nicht etwa eine zweite Lage Zinn erhalten soll. Die erste Schicht wird beim Durchgang durch das zweite Bad infolge dessen hoher Temperatur großenteils wieder aufgelöst. Die zweite Verzinnung hat hauptsächlich den Zweck, den Überzug gleichmäßiger zu gestalten, so daß auf jeden Fall der ganze Draht überall ausreichend mit Zinn bedeckt wird. Feuerverzinnte Drähte haben im allgemeinen mehr Glanz und hellere Farbe als galvanisch verzinnte Drähte. Als Material ist chemisch reines Zinn zu nehmen, damit nicht etwa wieder Beimengungen den Kupferleiter oder die Isolierhülle angreifen. Die Prüfung des Verzinnungsgrades erfolgt nach einfachen chemischen Verfahren.

Hinsichtlich der Selbstinduktion[1]) der Kabelleitungen sollen hier nur einige allgemeine Bemerkungen gemacht werden. Als Selbstinduktion bezeichnet man das Verhältnis der Stärke des durch den elektrischen Strom erzeugten magnetischen Kraftlinienfeldes zu dem erregenden Strome. Sie ist bedingt durch das Material, welches um den stromführenden Leiter gelagert ist, und wächst mit der Aufnahmefähigkeit bzw. Verstärkungsfähigkeit dieses Materials für die von dem Stromleiter ausgehenden Kraftlinien. Eisen ist am geeignetsten zur Ansammlung und Bildung von solchen Kraftlinien, in ihm werden sich also die Felder am stärksten entwickeln. Das Material des Leiters ist aber selbst gewissermaßen schon die Umgebung für die Stromfäden der innersten Schichten, es würden also Kabel mit Eisendrähten als Leiter eine höhere Selbstinduktion haben, als Kabel mit Kupferdrähten, weil Kupfer eine außerordentlich geringe Aufnahmefähigkeit für die Kraftlinien hat. Da der Faktor für Luft und andere Isolierstoffe aber noch etwas geringer ist als für Kupfer, so wird die Selbstinduktion mit dem Durchmesser der Kupferleiter ein wenig zunehmen. Für die Größe des Selbstinduktionskoeffizienten kommt beim Doppelleitungsbetriebe noch der gegenseitige Abstand der beiden Leitungsdrähte in Betracht. Je größer dieser wird, desto größer ist die Selbstinduktion einer Doppelleitung. Die Selbstinduktion einer Kabeleinzelleitung schwankt in den Telegraphenkabeln etwa zwischen 0,002 und 0,003 H, in Doppelleitungskabeln ist sie noch geringer und hält sich bei den üblichen Konstruktionen etwa in der Größenordnung von 0,001 H für 1 km.

Wie weit auch die Selbstinduktion von Einfluß auf die Konstruktion von Kabeln ist, wird im Abschnitt III bei Besprechung der Fernsprechkabel für den Fernverkehr erörtert werden.

Die Isolierhülle.

Die Kupferadern eines Kabels müssen zur Vermeidung gegenseitiger Berührung auf ihrer ganzen Länge mit einem Isolierstoff bedeckt sein. Als Isoliermaterialien kommen in der Praxis getrocknete Pflanzensäfte (Gutta-

[1]) Wegen Selbstinduktion in Kabeln näheres bei Breisig im III. Teil, 5. Abschnitt; auch zu vgl. Coyle and Howe, S. 395; Baur, S. 20.

percha und Gummi), Pflanzenfasern (Jute, Papier, Baumwolle) oder animalische Stoffe (Seide und Wolle) in Betracht, und außerdem noch flüssige Stoffe zum Tränken von einigen dieser Isoliermaterialien. Die Isolierhüllen selbst müssen gegen alle im Bereich der Möglichkeit liegenden schädlichen Einwirkungen ausreichend gesichert sein. Dieser Schutz, soweit er nicht in dem Material an sich bereits vorhanden ist, muß durch besondere Vorkehrungen bei der Konstruktion der Kabel noch herbeigeführt werden.

Die allgemeinen Anforderungen an ein gutes Isoliermaterial für Telegraphen- und Fernsprechkabel können etwa folgendermaßen kurz zusammengefaßt werden:

1. Hohes Isolationsvermögen (oder geringe dielektrische Verluste).
2. Geringe Dielektrizitätskonstante.
3. Zulässigkeit dünner Schichten.
4. Widerstandsfähigkeit gegen die beim Verlegen der Kabel entstehenden mechanischen Beanspruchungen.
5. Sicherheit des — unter Umständen besonders behandelten — Leitungsdrahtes gegen chemische Beeinflussung durch das Isoliermaterial.
6. Lange Lebensdauer.
7. Ermöglichung einer bequemen fabrikmäßigen Aufbringung auf den Leiter.
8. Mäßiges Gewicht.
9. Mäßiger Preis im Verhältnis zu dem erreichbaren Vorteil.

Diese Forderungen werden natürlich nicht gleichmäßig von sämtlichen Isoliermaterialien erfüllt, einige Forderungen werden sogar unter Umständen ganz fallen gelassen oder doch wenigstens eingeschränkt werden müssen, um namentlich den Ansprüchen an die Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit möglichst ausgiebig genügen zu können. Am besten sind die Bedingungen in ihrer Gesamtheit beim Papier erfüllt, doch läßt sich Papier nicht überall zum Isolieren verwenden.

Die Eigenschaften der Kabel, welche wesentlich von der Beschaffenheit und Dicke der Isolierhülle, des Dielektrikums, abhängen, sind: Isolationswiderstand, elektrische Festigkeit und Kapazität.

Da selbst das beste Dielektrikum kein absoluter Nichtleiter für Elektrizität ist, so wird auch kein Isoliermittel einen unendlich hohen, unmeßbaren Widerstand gegen den elektrischen Strom haben. Es wird also durch das Dielektrikum stets ein, wenn auch winzig kleiner Stromteil fließen, dessen Stärke durch den Isolationswiderstand des Materials bedingt ist. Abgesehen von dem Material an sich ist der Isolationswiderstand noch abhängig von der Zeit. Er nimmt bei Gleichstrommessungen mit der Dauer der Elektrisierung allmählich zu, bis er schließlich sein Maximum erreicht. Für die meisten Dielektrika wird der konstante Maximalwert etwa nach einer Minute erreicht. Die Zahlen über die Isolationswerte von Kabeln werden daher nach allgemeinem Übereinkommen — soweit nicht ausdrücklich anderes angegeben ist — auf die Stromdauer von einer Minute bezogen.

Einen wesentlichen Faktor für die Höhe der Isolation eines Kabels bildet die Temperatur[1]), ihr Einfluß ist weitaus größer auf die Isolierstoffe als auf

[1]) Vgl. Wietz, S. 156 ff.; Baur, S. 9.

den Kupferleiter. Bei Metallen kann innerhalb mäßiger Temperaturgrenzen die Veränderung des Widerstandes ziemlich genau der Temperaturänderung proportional gesetzt werden, so daß annähernd gleichen Temperaturdifferenzen auch gleiche Widerstandsdifferenzen entsprechen. Bei den Isolierstoffen liegen die Verhältnisse jedoch wesentlich anders, bei ihnen ist die Abnahme des Widerstandes zwischen höheren Temperaturstufen (z. B. 30 bis 40°) bedeutend größer als zwischen niederen (etwa 0° und 10°). Die prozentuale Abnahme der Isolation für 1° C Temperaturerhöhung ist je nach dem Material recht verschieden, sie beträgt nach Dreisbach [1]) für imprägnierte Jute 2 bis 20 v. H., für trockenes Papier 5 bis 9 v. H., für Guttapercha 1 bis 16 v. H. und für Gummi 5 v. H.; der Temperaturkoeffizient ist also für das Temperaturintervall von z. B. 0° und 30° nicht der gleiche.

Wenn also Isolationswiderstände eines Materials angegeben werden sollen, so muß man außerdem eine bestimmte Temperatur bezeichnen. Zur Vergleichung und Beurteilung von Isolierstoffen müssen die gemessenen Werte noch auf die Normaltemperatur (S. 8) umgerechnet werden. Auf Grund zahlreicher Versuche sind nach empirisch ermittelten Formeln Tabellen [2]) für die einzelnen Materialien aufgestellt worden zur Umrechnung der bei einer bestimmten Temperatur nach einer Minute Elektrisierung gemessenen Isolationswiderstände auf die Normaltemperatur. Aber diese Werte fallen nicht überall gleich aus. Jedes Kabelwerk gibt für seine Kabel besondere Tabellen mit oft nicht unerheblich voneinander abweichenden Werten an. Solche Unterschiede sind jedoch verständlich, denn es ist bisher noch nicht gelungen, den Zusammenhang zwischen Isolationswiderstand, Temperatur und auch der Elektrisierungsdauer allgemein gültig festzulegen. Die Temperaturreduktion bringt eine gewisse Unsicherheit über die Höhe des Isolationswiderstandes bei einer anderen als der gemessenen Temperatur mit sich. Dieser Übelstand läßt sich aber nicht vermeiden, da zur Vergleichung über die praktische Brauchbarkeit und den augenblicklichen Zustand von Isolierungen solche Berechnungen unbedingt erforderlich sind. Zur Umrechnung des Isolationswiderstandes von Kabeln auf die Normaltemperatur sind die Koeffizienten für Guttapercha, Gummi, Papier und Faserstoff in einer Tabelle zusammengestellt, die am Schluß dieses I. Abschnitts abgedruckt ist.

Für eine Kabelader mit homogener Isolierschicht (Guttapercha oder Gummi) von der Dicke δ und einem Leiterdurchmesser d (äußerer Durchmesser $D = d + 2\delta$) beträgt der Isolationswiderstand [3]):

$$W = w \ln \frac{D}{d} = 2{,}3\, w \lg \frac{D}{d},$$

wo w eine Materialkonstante bezeichnet; für Materialien, deren Isolation man nach Belieben ändern kann (z. B. imprägnierte Faser), hat diese Formel jedoch keine Bedeutung. Aus der Formel ergibt sich zunächst als wichtige Folgerung, daß der Isolationswiderstand nur von dem Verhältnis des äußeren und inneren Durchmessers der Isolierhülle, nicht von ihrer absoluten Stärke abhängt, und daß der Isolationswert um so geringer ist, je größer bei gleicher

[1]) Dreisbach, S. 90. — [2]) Baur, S. 10/12; Strecker, Hilfsbuch, S. 5 u. 6; Mitteilungen aus dem T. V. A., Heft IV, Nr. 60. — [3]) Dreisbach, S. 89; Baur, S. 7; ferner zu vgl. Breisig, § 60.

Dicke einer Isolierung der Durchmesser des Kupferleiters gewählt wird. Es kann weiter hiernach festgestellt [1]) werden, daß der Anteil der einzelnen Schichten der Isolierhülle bei starken Leitern ziemlich gleichmäßig ist, daß dagegen bei dünnen Drähten der Wert der Isolation in der Hauptsache durch die inneren Schichten erzielt wird. Man gewinnt also bei schwachen Leitern durch Verstärkung der Isolierhülle keine wesentliche Verbesserung der Isolation. Daß der Isolationswiderstand der Länge des Kabels umgekehrt proportional ist, braucht als allgemein bekannt nur erwähnt zu werden.

Hinsichtlich des Isolationswiderstandes eines Dielektrikums soll noch an die Tatsache erinnert werden, daß nicht nur das Material an sich, sondern auch sein Feuchtigkeitsgehalt bestimmend einwirkt. Die Ableitungsfähigkeit stellt sich als eine Funktion des Feuchtigkeitsgehaltes dar. Man wird also darnach zu streben haben, die in den Isolierstoffen enthaltenen Feuchtigkeitsmengen nach Möglichkeit zu entfernen und außerdem die Kabel durch einen ausreichenden äußeren Schutz gegen die Wiederaufnahme von Wasser zu sichern.

Die von guten Schwachstromkabeln praktisch zu fordernde Isolation in Megohm ist im allgemeinen von der Größenordnung $x . 10^2$ und wird im Durchschnitt mit etwa 500 Megohm bemessen. Mit diesem Wert kann man für alle Bedürfnisse auskommen, er wird daher in den meisten Fällen — z. B. seitens der R. T. V. — als Norm in den Lieferungsverträgen angesetzt, soweit nicht durch das Material im einzelnen niedrigere Ansprüche bedingt werden. Im Auslande sind die Anforderungen teilweise bis zu 1000 Megohm gesteigert. Durch geeignete Trocknungsverfahren hat man es zwar in der Hand, die Isolation sehr hoch zu treiben, doch sind auch hierfür — je nach dem Material — praktisch Grenzen gezogen, sofern nicht die Struktur leiden und damit wieder eine Verschlechterung der Isolation herbeigeführt werden soll. Keinesfalls ist ein Isolationsmaterial schon deshalb unbedingt besser als andere, weil es höhere Isolationswerte hat. Man muß sich damit begnügen, in den Verträgen mäßige Mindestwerte zu fordern. In der Regel pflegen sie aber am fertigen Fabrikat erheblich überschritten zu werden und vielfach 2000 Megohm und mehr zu betragen.

Der Isolationswiderstand ist in weiten Grenzen als von der Batteriebetriebsspannung unabhängig zu betrachten. In der Schwachstrompraxis kommt die Durchschlagfestigkeit [2]) nicht so wesentlich in Betracht wie für Starkstromkabel, sie ist deshalb auch oben bei der Aufzählung der hauptsächlichsten Anforderungen an die Isoliermaterialien nicht erwähnt worden. Die Erfüllung der geforderten sonstigen Eigenschaften gewährleistet für die in den Telegraphen- und Fernsprechkabeln auftretenden Spannungen hinreichenden Schutz auch in dieser Hinsicht.

Von wesentlichem Einfluß auf Spannungsproben ist die Prüfzeit. Ein Material kann naturgemäß bei längerer Einwirkung der elektrischen Spannung leichter durchschlagen werden, als wenn die gleiche Spannung nur kurze Zeit einwirkt. An und für sich wäre es also erwünscht, wenn die etwa — z. B. für gummiisolierte Drähte — vertragsmäßig vorgesehenen Spannungsproben solange als möglich, mindestens eine Viertelstunde, ausgedehnt würden; man

[1]) Baur, S. 6. — [2]) Näheres s. Baur, S. 37; ferner Dreisbach, S. 91.

begnügt sich aber mit Prüfungen von einer Minute Dauer. Die vorgesehenen Spannungsproben müssen jedenfalls den Isolationsmessungen vorangehen, da letztere unter Umständen die durch die Durchschlagproben etwa eingeleiteten Fehler aufdecken.

Die dritte, wesentlich von der Isolierhülle abhängige elektrische Eigenschaft einer Kabelleitung ist die Kapazität[1]). Eine Kabelader kann bekanntlich als ein Kondensator aufgefaßt werden, dessen Belegungen der Leitungsdraht und die äußere Schutzhülle oder die Erde darstellen und dessen Dielektrikum die Isolationsschicht bildet. Die für den Kondensator geltenden Grundgesetze lassen sich also auf die Kabel übertragen. Die durch das Dielektrikum verursachten Erscheinungen der Ladungs- und Entladungsströme entstehen auch in den Kabeln und machen sich äußerlich in den metallischen Leitern bemerkbar. Da diese Vorgänge für die Fortpflanzung der telegraphischen und telephonischen Ströme schädlich sind, so wird man durch Auswahl geeigneter Dielektrika und deren Abmessungen dahin streben müssen, ihrem ungünstigen Einfluß möglichst zu begegnen. Die Wirkung der Dielektrika von Kondensatoren ist verschieden nach der Zeit und dem Umfang der sich in ihnen abspielenden elektrischen Vorgänge. Ein jedes Dielektrikum braucht für die Ladung und Entladung eine gewisse Zeit; je kürzer diese ist, desto besser ist es für Telegraphen- und Fernsprechkabel geeignet.

Neben der Zeitdauer ist von besonderer Wichtigkeit die Stärke der Ladungsvorgänge in den Kabeln, und diese wird wesentlich bestimmt durch die sogenannte Dielektrizitätskonstante. Es wird dieserhalb auf die betreffende Literatur[2]) verwiesen. Soweit Isoliermaterialien für Kabelzwecke Anwendung finden, werden ihre Dielektrizitätskonstanten in den späteren Ausführungen dieses Buches im einzelnen bezeichnet werden. Der Wert der Konstante ist bei der Auswahl eines Dielektrikums, wenn auch nicht ausschließlich maßgeblich, so doch jedenfalls von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die praktische Verwendbarkeit der Kabel. Je höher die Dielektrizitätskonstante ist, desto höher ist die Kapazität und desto weniger ist das Material — allein vom Standpunkt der Ladungsvorgänge aus betrachtet — zur Isolierung von Kabelleitungen erwünscht.

Da eine Kabelleitung eine unendliche Reihe unendlich kleiner, parallel geschalteter Kondensatoren bildet, so ist nach den Gesetzen über Kondensatoren ihre Gesamtkapazität der Länge des Kabels direkt proportional. Die Kapazität eines Zylinderkondensators berechnet sich nach der Formel[3])

$$C = \frac{0{,}0241 \,.\, k \,.\, l}{lg \frac{D}{d}} \text{ Mf},$$

wenn k die Dielektrizitätskonstante, l die Länge in km, D den äußeren Durchmesser der Isolierhülle und d den Durchmesser der Leitungsader in mm bezeichnen.

[1]) Zu vgl. Breisig, im 2. und 4. Abschnitt des II. Teils. — [2]) Strecker, Hilfsbuch, S. 60; Dreisbach, S. 4; Baur, S. 14; Obach, S. 72; Wietz, S. 91; Orlich, Kapazität und Induktivität, Braunschweig 1909, S. 285. — [3]) Dreisbach, S. 92; Bauer, S. 17; Breisig, § 41, Kapazität von Litzenkabeln.

Abgesehen von k und l ist die Kapazität bestimmt durch die Größe $\frac{1}{lg\,\frac{D}{d}}$. Es kann hiernach, unter Einsetzung verschiedener Teildurchmesser — ebenso wie für die Isolation — der anteilmäßige Betrag berechnet werden, den die einzelnen Schichten [1]) der Isolierhülle zu der Gesamtkapazität beitragen. Hierbei ergibt sich, daß die Höhe der Kapazität der — gedachten, gleich starken — Schichten mit ihrer wachsenden Entfernung vom Kupferleiter zunimmt. Diese relative Zunahme ist für dünne Leiter größer als für starke und wird andererseits wieder um so geringer, je mehr der Aderdurchmesser ansteigt; die Gesamtkapazität ist kleiner als die der einzelnen Schichten.

Aus obiger Formel ergibt sich weiter, daß man z. B. die Kapazität verringern kann, wenn man bei gleichbleibendem Leiterdurchmesser die Dimensionen der Isolierhülle vergrößert, d. h. je größer man den gegenseitigen Abstand der Leiter macht. Der entgegengesetzte Weg zur Verkleinerung der Kapazität liegt in der Ermäßigung des Kupferdurchmessers, d. h. in der Verringerung der unter Spannung stehenden metallischen Oberfläche der Leitungsdrähte. Nach diesem verschiedenen Verhältnis der Stärke der Isolierhülle und der Kupferader zur Kapazität kann man die Formelbedingung — entsprechend den gleichen Überlegungen hinsichtlich der Isolation — auch dahin aussprechen, daß für die Höhe der Kapazität nicht die absolute Größe der beiden Durchmesser, sondern lediglich ihr durch den Quotient ausgedrücktes Größenverhältnis maßgeblich ist. Für den Abstand der Leiter im Kabel und die Stärke der Kupferadern sind aber aus wirtschaftlichen und technischen Gründen nach oben und unten Grenzen gesetzt. Die Hauptsache zur Ermäßigung der Kapazität der Kabel bleibt die Auswahl eines Isoliermaterials von möglichst geringer Dielektrizitätskonstante — soweit die sonstigen Konstruktions- und Betriebsbedingungen der Kabel dieses gestatten. Ganz allgemein ist überhaupt bei Kabelleitungen zu berücksichtigen, daß infolge der dichten Lagerung der Adern zueinander und zur Erdschutzhülle die Kapazität ganz erheblich größer ist als in Luftleitungen.

Die zulässigen Werte der Kapazität von Kabeladern richten sich einerseits nach dem gewählten Isoliermaterial und andererseits nach der Betriebsart, für welche das Kabel bestimmt ist. In Telegraphenkabeln kommt man für gewöhnlichen Betrieb noch mit etwa 0,25 Mf für 1 km aus; für Schnelltelegraphen sollen die Werte geringer sein; Fernsprechkabel erfordern besonders niedrige Werte, jedenfalls erheblich unter 0,1 Mf; näheres wird bei Besprechung der einzelnen Kabeltypen erörtert werden.

Während man bei Einzelleitungen die Kapazität als das Verhältnis der auf der Leitung befindlichen Elektrizitätsmenge zu ihrem Potential gegen Erde

$$C = \frac{Q}{V}$$

bezeichnet, ist die Kapazität von Doppelleitungen [2]) nicht so eindeutig bestimmt. Man hat hierbei nach Breisig [3]) drei Spezialfälle zu unterscheiden,

---

[1]) Baur, S. 19. — [2]) Zu vgl. Coyle and Howe, S. 167, ferner Breisig, S. 68 ff. — [3]) Breisig, „Über die Bestimmung der elektrischen Kapazität von Fernsprechkabeln mit Doppelleitungen", E. T. Z. 1899, S. 127.

von denen praktisch jedoch nur derjenige der Schleife interessiert. Für diesen Fall wird die Kapazität einer Doppelleitung als das Verhältnis der in jedem Zweige vorhandenen Elektrizitätsmenge zur Potentialdifferenz der beiden Leitungen gegeneinander — für beide Zweige gleiches, aber entgegengesetztes Potential vorausgesetzt — definiert. Man kann hieraus weiter folgern, daß die Kapazität einer Schleife[1]) nur halb so groß sein wird als diejenige eines Einzeldrahtes gegen Erde. Da die Doppelleitungskapazität die für die Übermittelung der Sprechströme bedeutungsvolle Größe darstellt, so ist es üblich, für Fernsprechkabel nicht nur die Einzelleitungskapazität, sondern auch diejenige der Schleifen festzusetzen. Erfahrungsgemäß ist diese etwas mehr als die Hälfte, etwa bis zu 60 v. H. der Kapazität einer der beiden Einzelleitungen.

Der theoretisch ermittelte Wert stellt jedoch nur die untere Grenze der Kapazität dar, in Wirklichkeit kommt noch der Einfluß der benachbarten Leiter[2]) hinzu, der bei Einzelleitungen die Kapazität ganz erheblich erhöhen kann. Bei Doppelleitungen ist die Einwirkung benachbarter Drähte dagegen wesentlich geringer. Außerdem wird in beiden Fällen die Kapazität erhöht durch einen größeren Feuchtigkeitsgrad der Isolierhülle, da Wasser eine sehr hohe Dielektrizitätskonstante hat.

Infolge von Unregelmäßigkeiten in der Fabrikation und der verschiedenen Lagerung der Adern in der Kabelseele haben nicht alle Leitungen eines Kabels die gleiche Kapazität, diese steigt vielmehr ein wenig mit zunehmender Erdnähe, d. h. in den äußeren Lagen. Man setzt daher eine durchschnittliche Höchstkapazität in den Lieferungsbedingungen fest. Speziell für die Luftraumkabel läßt sich die Kapazität durch mannigfache Anordnung der Kabeladern und durch verschiedene Stärke der Trocknung in weiten Grenzen nach Belieben bemessen.

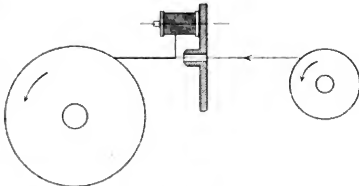
Neben dem Stromverlust durch die Ableitung, der dadurch entsteht, daß ein ganz geringer Teil des in die Ader gesandten Stromes durch das Dielektrikum abfließt, ist beim Betriebe von Kabelleitungen mit Wechselstrom — also in der Hauptsache im Fernsprechbetriebe — noch ein weiterer Energieverlust zu berücksichtigen. Wenn man durch einen Kondensator Wechselstrom schickt, so wird man mit geeigneten Instrumenten beobachten, daß der Kondensator sich erwärmt. Es wird also ein gewisser Teil der elektrischen Energie zur Wärmebildung verwendet, und diese Arbeit, welche unter dem Einfluß der Wechsel der Stromrichtung im Dielektrikum geleistet wird, geht verloren. Die eigentliche Ursache zu diesem Energieverlust ist noch nicht sicher aufgeklärt. Man nimmt im allgemeinen an, daß die Entstehung der Wärme auf einer durch den Wechselstrom verursachten fortgesetzten Umpolarisation der Moleküle des Dielektrikums beruht, ebenso wie z. B. auch die magnetische Hysteresis im Eisen unter dem Einfluß des Wechselstroms durch eine mechanische Umlagerung der Eisenmoleküle erklärt wird. Unter dieser Voraussetzung können beide Vorgänge wohl verglichen werden, so daß man derartige dielektrische Verluste geradezu als dielektrische

[1]) Z. B. würde bei 2 mm Abstand der Leiter die Kapazität für Doppelleitungen mit 2, 1,5, 1,0, 0,9 und 0,8 mm-Leitern betragen: 0,0425, 0,04, 0,037, 0,037 und 0,035 Mf für 1 km. — [2]) Zu vgl. Strecker, Hilfsbuch, S. 816, sowie Breisig, S. 71.

Hysteresis [1]) bezeichnet hat. Es ist also mit der Tatsache zu rechnen, daß bei Wechselstrom auch das Dielektrikum an den elektrischen Vorgängen aktiv teilnimmt und ihren Effekt beeinflußt. Man kann sich deshalb eine Kabelleitung auch wohl aus einem Kondensator und aus einem zu ihm parallel oder in Reihe geschalteten Widerstand, der die verloren gehende Energie verzehrt, zusammengesetzt denken. Die Größe dieses Widerstandes hängt vom Dielektrikum ab, sie ist bei Guttapercha und Gummi größer, bei Hartgummi verhältnismäßig klein und bei Luft am geringsten. Dieser Widerstand ist aber auch abhängig von der Schwingungszahl des Wechselstroms; er wird mit steigender Frequenz kleiner, d. h. der dielektrische Verlust wird größer. Der Wechselstromverlustwiderstand spielt bei Kabeln die Rolle, daß er den Isolationswiderstand geringer macht — oder anders gesagt, der Isolationswiderstand ist, mit Wechselstrom gemessen [2]), geringer als bei Messung mit Gleichstrom. Ebenso erscheint bei Wechselstrommessungen auch die Kapazität kleiner als bei Gleichstrom. Es ist erklärlich, daß die Größe des Wechselstromverlustwiderstandes namentlich bei niedrig isolierten Fernsprechkabeln, also bei den Systemkabeln, von besonderer Bedeutung sein wird, da in diesen die elektrischen Ströme an und für sich schon durch die größere Ableitung stärkere Verluste erleiden, so daß leichter Mitsprechen eintreten kann. Es wird also z. B. in Frage kommen können, für solche Kabel vertragsmäßig die Höhe des Verlustwiderstandes festzusetzen.

Die Art und Weise der Aufbringung der Isoliermittel auf die Kupferleiter wird bei Besprechung der einzelnen Kabeltypen erörtert werden. Es sollen hier nur einige allgemeine Gesichtspunkte hinsichtlich der maschinellen Vorgänge [3]) kurz gestreift werden. Grundsätzlich sind vier Arten der Isolierungsmethoden zu unterscheiden, nämlich die Umspinnung, die Umwickelung, die Umklöppelung und die Umpressung.

Abb. 1.



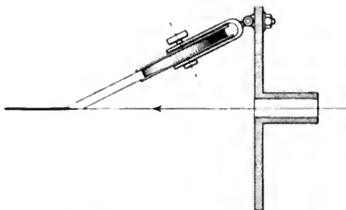
Die Umspinnung ist die einfachste Art der Isolierung von Drähten. Sie besteht darin, daß ein Faden in dicht aneinander liegenden Windungen um den Draht gesponnen wird, der dadurch eine eng anliegende, dicht abschließende äußere Hülle erhält; ein derart isolierter Draht heißt umsponnener Draht. Das bei allen Maschinen wiederkehrende Prinzip des Verfahrens ist schematisch in **Abb. 1** dargestellt. Eine Spule mit dem um den Leiter zu spinnenden

[1]) Zu vgl. auch Baur, S. 21; ferner zu vgl. Orlich, Kapazität und Induktivität, Braunschweig 1909, S. 24, 207, 249, 276; E. T. Z. 1910, S. 514 ff. enthält der Aufsatz von M. Hochstädter über die dielektrischen Eigenschaften von Hochspannungskabeln interessante allgemeine Ausführungen. — [2]) Es sei folgende praktische Messung zur Erläuterung angegeben: ein Kondensator zeigte bei Gleichstrom 2,2 Mf und 50 Megohm; unter Wechselstrom von 1000 Perioden betrugen diese Werte nur noch 2,02 Mf und 2000 Ohm. — [3]) Nach Wietz, S. 32 ff.; zu vgl. auch Baur, S. 351 ff.

Faden ist auf einer Scheibe befestigt, durch deren durchbohrte Welle der blanke Draht von einer Aufwickelvorrichtung (Trommel) zur anderen gezogen wird. Hierbei läuft die Fadenspule um den Leiter herum und wickelt den Faden auf. Die Arbeitsvorgänge in den Maschinen, die in ihrer Ausführung zuweilen recht kompliziert sind, müssen derart geregelt sein, daß das Isoliermaterial überall gleiche Spannung und gleichen Drall, sowie gleiche Stärke hat und sich fest, glatt und gleichmäßig um die Oberfläche des Drahtes legt. Die Umspinnungsfäden werden selten einfach, sondern je nach dem Durchmesser des Leiters und der Stärke des Spinnmaterials mehrfach genommen, so daß gleichzeitig mehrere Fäden von einer Spule auf den Draht gelegt werden; hierdurch wird eine größere Dichte der Umspinnung erreicht. Außerdem kommt noch die mehrfache Umspinnung in Anwendung, d. h. es werden auf den Spinnläufer mehrere Fadenspulen gesetzt, von denen die Fäden gleichzeitig um den Draht gespult werden. Derartige Umspinnungen sind im allgemeinen erheblich fester. Schließlich wird auch eine mehrfache Umspinnung übereinander in einem Gange dadurch erzielt, daß hintereinander mehrere solche Spinnläufer in die Maschine gesetzt und so die Lagen übereinander und zeitlich nacheinander aufgeschichtet werden. Die Spinnvorrichtungen können sowohl horizontal als auch vertikal arbeiten.

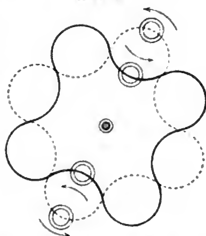
Die Umwickelung erfolgt im Prinzip nach demselben Verfahren, sie ist also eine Abart der Umspinnung; der Unterschied ist nur durch die Beschaffenheit und Form des Isoliermaterials bedingt. Wegen der Bandform des Materials hat die Spule eine andere Aufwickelvorrichtung und Anbringung erhalten. Beim Spinnläufer wird infolge der parallelen Stellung der Fadenspulenachse und des vorgezogenen Leitungsdrahtes der Faden in beinahe senkrechter Richtung um den Leiter gewickelt. Dieses ist aber bei Bändern nicht angängig, da die einzelnen Windungen dann zu dicht, schuppenartig übereinander greifen würden, auch würde dies eine große Materialverschwendung ohne entsprechenden Nutzen mit sich bringen. Die Bandspule erhält daher die in **Abb. 2** skizzierte schräge Stellung zur Läuferscheibe und zum Draht. Die Neigung der Spule ist durch die Breite des Bandes gegeben. Sie bestimmt die Gangweite, die um so größer wird, je breiter das Band im Verhältnis zum Leiterdurchmesser ist; die Stellung der Spule muß daher veränderlich sein. Solche Bandwickler werden entweder für sich allein verwendet oder zwischen die Spinnläufer in die Maschinen eingefügt (zu vgl. Abb. 13), so daß man in einem Gang gleichzeitig die beiden Isolierungsmethoden vereinigen kann. Allgemein werden stets zwei aufeinander folgende Lagen (Band oder Faden) in entgegengesetzter Richtung auf den Draht gebracht, um dem Ganzen ein festeres Gefüge zu geben. Das Band muß ohne Fugen genügend übereinander greifen, andererseits darf aber diese Überlappung auch nicht zu viel Material erfordern.

Abb. 2.



Ein Nachteil der Umspinnung oder Umwickelung besteht darin, daß die umgelegten Fäden und Bänder das Bestreben haben, sich vom Leiter abzulösen, wenn an einer Stelle ein Defekt entsteht. Um diesen Übelstand zu vermeiden, wird erforderlichenfalls die Umklöppelung angewendet. Bei diesem Verfahren werden zwei mehrfache Umspinnungen in entgegengesetzter Richtung um den Draht gebracht und die Fäden der beiden Umwindungen miteinander verflochten, so daß gewissermaßen ein isolierender Schlauch entsteht. Der Arbeitsvorgang ist komplizierter, da zwei Vorgänge, das Umspinnen und Verflechten, ineinander greifen und außerdem die Spulen bei den beiden Umspinnungen entgegengesetzt laufen müssen. Die Ausführung der Umklöppelung ist schematisch in **Abb. 3** dargestellt. Die Spulen werden derart um den Draht herumgeführt, daß ihre Fäden miteinander verflochten werden, wenn zwei Spulen aneinander vorbeigehen; z. B. laufen nach der Skizze die beiden auf der starken Kurve gezeichneten Spulen um den in der Mitte befindlichen Draht in der entgegengesetzten Richtung, wie die Spulen auf der gestrichelten Linie. Die Fäden zweier Spulen kommen bei der Verflechtung dann abwechselnd über- und untereinander zu liegen. Die Spulen nehmen also die beiden ineinander verschlungenen Wege, sie laufen auf ihnen mit gleichförmiger Geschwindigkeit und verflechten dabei ihre Fäden. Die einzelnen Wege der Klöppelspulen, die Spannung und der Ablauf der Fäden müssen durch die Maschine geregelt werden, die Leitung wird dabei automatisch in dem Maße fortgezogen, wie die Umflechtung fertiggestellt ist. Die Umklöppelung wird für die eigentliche Isolierung der blanken Drähte niemals angewendet, da sie nicht so fest anliegt und auch nicht so dicht ist, wie die anderen Methoden, sie dient vielmehr bei Bedarf als mechanischer Schutz oder Verstärkung der darunter befindlichen Umspinnung oder Umwickelung. Derartige Gespinste erhalten in der Regel auch noch eine besondere Imprägnierung zur Ausfüllung der Fadenzwischenräume.

Abb. 3.



Die Umpressung kommt nur für homogene feste Stoffe in Betracht, sie wird für die Aufbringung der Guttapercha und des Kautschuks auf die Leitungsadern verwendet. Die Verfahren werden im Zusammenhange mit der Besprechung der Konstruktion der betreffenden Kabel im Abschnitt III näher dargestellt werden.

Die Verseilung der Kabel.

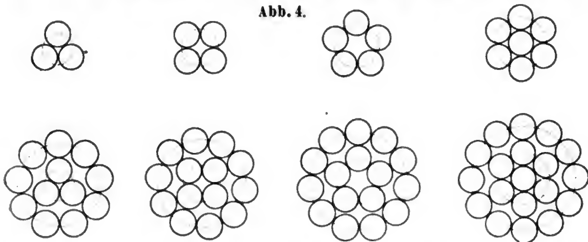
Die Verseilung der Adern eines Kabels verfolgt den Zweck, die einzelnen Leiter zu einem mechanisch festen Ganzen zu vereinigen, wobei der so gebildeten Kabelseele bei einem Maximum von Adern ein Minimum von Querschnitt gegeben werden soll. Außer dieser Verseilung zur Bildung der Kabelseele kommt noch die Verdrillung der beiden zu einer Doppelleitung gehörigen Leitungsadern in Betracht, diese soll jedoch erst später bei Besprechung der Fernsprechkabel besonders erläutert werden (zu vgl. Abb. 27 bis 29).

Für die Konstruktion eines Seiles — als solches kann ein Kabel angesehen werden — kommen hauptsächlich zwei Faktoren in Betracht: die Zahl der Einzeldrähte und der Drall der Verseilung. Bei Betrachtung dieser beiden Punkte in ihrer Bedeutung für den Aufbau der Kabel müssen einige, zur Erleichterung des Verständnisses unentbehrliche Hinweise über die Theorie der Seile[1]) in die Besprechung einbezogen werden.

Bei der Verseilung von Kabeln sind zwei grundsätzliche Forderungen zu erfüllen: daß die einzelnen Adernlagen stets konzentrisch um die innersten Drähte gezogen sind, also Kreise bilden, und daß die Windung jeder Drahtlage derjenigen der vorhergehenden entgegen gerichtet ist. Im allgemeinen haben die zu verseilenden Adern eines Telegraphen- oder Fernsprechkabels gleichen Durchmesser; die Ausnahmen werden nachher kurz besonders erörtert werden. Für die Bildung der einzelnen Adernlagen kommen wiederum zwei verschiedene Grundtypen in Betracht, welche beide auch für Schwachstromkabel Anwendung finden. Diese sind die einfache Verseilung aus lauter konzentrisch übereinander geschichteten einfachen Drahtlagen und die kombinierte Verseilung aus mehreren neben- und übereinander gelagerten Aderngruppen. Jede dieser beiden Methoden zerfällt weiter in zwei Unterabteilungen, nämlich die Verseilung ohne Seele — wo die Achse des ganzen Kabels durch einen Hohlraum gebildet wird — und die Verseilung mit Seele, bei welcher ein mittlerer Draht die Seilachse darstellt. Für die Auswahl einer geeigneten Verseilungsform kommen die Zahl der erforderlichen Adern und die Forderung eines möglichst geringen Raumbedarfs in Betracht. Je geringer die Querschnittsfläche wird, um so mehr kann auch an der Armatur gespart werden, und um so dünner, leichter, handlicher und billiger wird das ganze Kabel.

Die einfache Verseilung ohne Seele wird praktisch nur für die niedrigadrigen Kabel angewendet; sie ist in drei verschiedenen Formen, dem drei-, vier- und fünfadrigen Seil, möglich. Wie aus der **Abb. 4** ersichtlich ist,

Abb. 4.



wächst der innere Hohlraum mit der Aderuzahl einer solchen Gruppierung. Durch Hinzufügen einer sechsten Ader zu dem fünfdrähtigen Seil wird der innere Hohlraum so weit vergrößert, daß eine gleich starke siebente Ader in diesen gerade hineinpaßt; es entsteht dadurch das einfache Seil mit Seele.

[1]) Baur, S. 94 ff. und Wietz, S. 77 ff.

Wie auf S. 7 erwähnt worden ist, beträgt der nutzbare Querschnitt für die siebenadrige Litze 77,8 v. H. der Fläche des um die äußere Peripherie gelegten Kreises, d. h. rund $^1/_4$ des Raumes ist für die Seilbildung als Verlust zu betrachten. Demgegenüber beträgt die Ausnutzungsfähigkeit für das dreiadrige Seil nur 64 v. H. und für das vier- und fünfadrige 69 v. H. eines Massivdrahtes vom Durchmesser des Peripheriekreises[1]). Diese drei Werte sind unabhängig vom Durchmesser, setzen jedoch gleiche Stärke für alle Drähte eines Seiles voraus. Das dreiadrige Seil ist also das ungünstigste.

Um die inneren Lagen werden bei mehradrigen Kabeln die weiterfolgenden Lagen aufgeschichtet. Es ergibt sich nun als das bemerkenswerte Gesetz[2]) der Verseilung, daß die Zahl der Drähte in jeder folgenden Lage stets um sechs größer ist, als diejenige in der vorhergehenden Lage, ganz unabhängig von der Zahl der Adern der innersten Lage — jedoch unter den Bedingungen, daß sämtliche Drähte gleichen Querschnitt haben und daß die Drähte jeder Lage, eng aneinanderliegend, die vorhergehende vollkommen geschlossen umgeben; dieses ist aus Abb. 4 zu erkennen. Eine derartige Adernfolge ergibt dann für jede Grundtype wieder die bestmögliche Raumausnutzung, die sich mit wachsender Adernzahl dem Grenzwerte 75 v. H. — hinab bzw. hinauf — nähert. Die ungünstigste Form ist auch in dieser Beziehung die dreiadrige Seele. Nach den vorstehenden Ausführungen ergibt sich, daß der Aufbau der mehradrigen Kabel auf der Grundlage der siebenadrigen Type der zweckmäßigste und daher praktisch zunächst zu bevorzugende ist.

Für die modernen Telegraphenkabel — wie früher schon teilweise für Fernsprechkabel — ist neuerdings auch die kombinierte Verseilung, d. h. also der Aufbau der Kabel aus in sich verseilten Aderngruppen, in Aufnahme gekommen. Die Grundformen dieser Verseilungsmethoden sind dieselben wie für die einfache Verseilung. Der Unterschied besteht im Grunde lediglich darin, daß statt einzelner Volldrähte fertige Drahtlitzen nach dem Gesetze der einfachen Verseilung miteinander vereinigt werden. Der nutzbare Querschnitt ist aber ungünstiger als bei der einfachen Verseilung, da schon jede der Einzellitzen für sich einen Verminderungsfaktor mit sich bringt; er beträgt im Höchstfall 61 v. H. und fällt bis auf 41 v. H. Auch hier ist der Aufbau aus dreidrähtigen Litzen wieder am unrentabelsten. Ein wenig günstiger läßt sich die Raumausnutzung gestalten, wenn in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Gruppen noch Einzeladern, unter Umständen geringeren Querschnittes, oder auch Doppeladern gebracht werden.

Nach den obigen Regeln für die Konstruktion der Seile würde, die günstigste siebenadrige Type als Norm vorausgesetzt, die Adernzahl der Kabel

in den einzelnen Lagen 1, 6, 12, 18, 24, 30, 36 usf.,
d. h. die Gesamtadernzahl 1, 7, 19, 37, 61, 91, 127 usf.

betragen müssen, wenn die beste Raumausnutzung erreicht werden soll. In der Praxis ist dieses aber nicht durchführbar, da die Bedingungen für die Verlegung der Kabel zu einer Aufteilung der stärkeren in schwächere zwingen. Diese Rücksicht bringt es mit sich, daß die Adernzahl der Hauptkabel sich in die Abschluß- oder Verteilungskabel vollständig muß auflösen lassen, d. h. es

[1]) Baur, S. 98/99. — [2]) Beweis s. Baur, S. 95.

muß die Zahl der Stammkabeladern ein Vielfaches der Adernzahl der Aufteilungskabel darstellen. Hieraus erklärt sich die anormale Seilbildung, welche für die Telegraphen- und Fernsprechkabel üblich und durch die Verhältnisse notwendig gegeben ist. Unter Zugrundelegung des siebenadrigen Kabels muß also die Adernzahl der stärkeren Kabel 14, 28, 56, 112, 168 oder 224 betragen; andere Zwischenstufen sind bei der R. T. V. nicht gebräuchlich. Die Aufteilung des siebenadrigen Kabels selbst ist durch die drei- und vieradrigen Typen ermöglicht.

Im Laufe der Zeit ist aber seitens der R. T. V. diese Kabeleinteilung zugunsten der dekadischen Teilung wieder aufgegeben worden. Die Veranlassung zu dem Übergange zur Zehnerteilung war durch rein äußerliche Gründe gegeben: die Klinkenstreifen der Fernsprechämter sind nämlich nach dieser Teilung zusammengesetzt. In älteren Ämtern findet man allerdings noch jetzt vielfach das Siebenerkabel. Das Abweichen von dieser Type war insofern technisch nicht schwierig, als die neueren Kabel mit Luftraumisolierung wenig Schwierigkeiten in ihrem Aufbau mit verschiedenartiger Adernzahl bereiten. Man kann in ihnen unbedenklich die einzelnen Lagen hinsichtlich ihrer Adernzahl verändern, ohne daß der Querschnitt des ganzen Kabels unregelmäßig wird. Im übrigen waren die sogenannten Systemkabel, entsprechend ihrem Zweck zur Heranführung an die Klinkenstreifen, von vornherein nach der dekadischen Teilung konstruiert; sie werden jetzt mit allen nur anwendbaren Adernzahlen hergestellt. Analog dem Vorgange der Fernsprechkabel sind dann seit einigen Jahren auch die Telegraphenkabel der R. T. V. größtenteils nach der Zehnerteilung zu 5, 10, 20, 25, 50, 100 usw. Adern konstruiert worden.

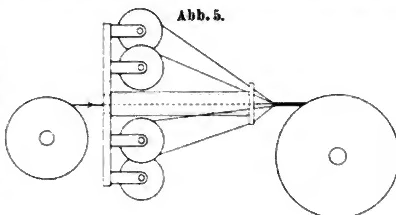
Es ist also die Tatsache zu beachten, daß fast sämtliche Telegraphen- und Fernsprechkabel anormale Seilbildung haben und demgemäß eine Raumausnutzung besitzen, die mehr oder weniger noch ungünstiger ist, als sie sich ohnehin notwendigerweise ergibt.

Der Aufbau der einzelnen Kabel ist recht verschieden. Man kann — abgesehen von den anpassungsfähigen Papierhohlraumadern — entweder die einzelnen Lagen durch irgend welche Mittel verstärken, so daß die Kabel die Gesamtadernzahl derart aufzunehmen vermögen, daß die Adern jeder Lage die vorhergehende dicht abschließen und im ganzen ein konzentrisch aufgebautes Kabel entsteht. Es läßt sich aber auch ein anderer Weg beschreiten, indem nämlich zwischen die Adern jeder Lage Beilauffäden aus geeignetem Material (z. B. tannierte Jutefäden) gebracht werden. Schließlich kann man auch beide Methoden vereinigen. Auf jeden Fall müssen in die Kabel mit anormaler Seilbildung und festen Adern für den praktischen Betrieb unnötige Materialien gebracht werden, damit sie die erforderliche Festigkeit und einen runden regelmäßigen Querschnitt erhalten.

Einigermaßen schwierig wird die Verseilung, wenn es sich um Adern verschiedener Stärke oder um Verseilung von Aderubündeln in demselben Kabel handelt, zumal auch die Raumausnutzung in diesen Fällen recht sorgfältig überlegt sein muß. Bei verschiedenartigen Adern wird man in der Regel die stärkeren möglichst in den Kern bringen, weil das Kabel dann in sich fester wird und auch biegsamer bleibt. Die Gruppierung der Aderbündel in der Kabelseele und ihre Verseilung mit Beilauffäden oder Einzeladern usw.

sind in der Hauptsache durch die vorgeschriebene Adernzahl bedingt und daher jedem einzelnen Fall besonders anzupassen.

Die eigentliche gemeinsame Verseilung der Adern oder der verdrillten Doppeladern — welche hinsichtlich der Verseilung nur die Rolle von Einzelelementen spielen — zu der lagenweise aufgebauten Kabelseele erfolgt in den Verseilmaschinen [1]), deren Prinzip in **Abb. 5** [2]) skizziert ist. Dieses stimmt im wesentlichen mit demjenigen der einfachen Umspinnmaschine (Abb. 1) überein. Wir sehen die beiden Trommeln und die Spulenscheibe. Auf gleicher Achse mit letzterer sitzt noch eine zweite Verteilerscheibe, durch deren am Rande befindliche Öffnungen die beim Umgange der Spulenscheibe ablaufenden Drähte gegen die gleichmäßig in Rotation gehaltene Aufwickeltrommel gezogen werden. Die Drähte vereinigen sich hinter der Lochscheibe und legen sich schraubenförmig um den fortschreitenden Kabelkern. Der Ablauf, die Geschwindigkeit und die Spannung der Drähte sind in jedem Fall sorgfältig der Adernzahl anzupassen, damit die einzelnen Lagen konzentrisch ohne Lücken und Ungleichmäßigkeiten die darunter liegenden vollständig glatt umgeben. Die etwa erforderlichen Beilauffäden werden gleichzeitig in derselben Weise mitverseilt. In den sogenannten Tandemmaschinen können in einem Arbeitsgange mehrere Lagen — durch mehrere hintereinander gesetzte Vorrichtungen mit entsprechend steigender Spulenzahl — gebildet werden. Ein Nachteil dieser letzteren, allerdings Zeit und Kosten ersparenden Methode liegt jedoch darin, daß man die Bildung der einzelnen Adernlagen nicht genügend beaufsichtigen kann, so daß selbst sonst ohne weiteres auffällige Fehler unbemerkt bleiben und verdeckt werden können. Bandbewickelungen, die zwischen den einzelnen Lagen oder um die ganze Kabelseele aufgebracht werden sollen, können entweder in demselben Arbeitsgange oder auch besonders ausgeführt werden.


Abb. 5.

In **Abb. 6** auf der am Schluß des Buches befindlichen Tafel ist der Arbeitsvorgang bei der Verseilung eines Fernsprechkabels schematisch dargestellt. Das dünne Kabel läuft — von rechts nach links — von der Trommel zunächst durch die eigentliche Verseilmaschine und erhält daselbst eine weitere Adernlage. In dem skizzierten Beispiel werden dann noch zweimal zwei Papierbänder aufgebracht; ein solcher verstärkter Papierschutz (vier statt zwei Bänder) wird bei besonderen Beanspruchungen zuweilen gewählt, z. B. für Flußkabel.

Es ist oben als zweite bei der Verseilung zu erfüllende Forderung bezeichnet worden, daß die einzelnen Lagen in wechselnder Richtung aufzubringen sind. Das ganze Kabel gewinnt dadurch ein festeres Gefüge,

---

[1]) Wietz, S. 25. — [2]) Zu vgl. die Abb. 6, 11 und 13.

außerdem wirkt diese Wickelungsart dem Bestreben der einzelnen Drähte, sich wieder aufzudrehen, entgegen. Die in den Adern auftretenden Gegenspannungen, welche die Tendenz zeigen, das Kabel in der Ruhelage krumm zu biegen, können nicht zur Geltung kommen, da sie sich durch ihre entgegengesetzte Richtung in den verschiedenen Lagen wieder aufheben.

Wie eingangs dieser Besprechung erwähnt wurde, ist für die Verseilung der Kabel noch ein anderer Faktor von Bedeutung: der Drall[1]) der Verseilung. Infolge der Arbeitsvorgänge in der Verseilmaschine ordnen sich in jeder Lage die Drähte in Schraubenlinien von gleichmäßiger Ganghöhe auf ihre Unterlage. Die Höhe der Steigung oder eines vollen Umganges heißt der Drall. Die Schraubenlinie ist bei gleicher Steighöhe um so länger, je größer der Durchmesser des Kernes, je weniger steil also das Ansteigen ist. Der Drall ist am geringsten bei nahezu senkrecht zur Kernachse gewickelten Drähten und wächst, je mehr sich die Richtung der Schraubenlinie parallel zu dieser Achse stellt. Im übrigen erhalten ganz allgemein die stärkeren Adern einen längeren Drall als die schwächeren. Auf S. 7 ist bei Besprechung der Litzendrähte ausgeführt, daß die umlaufenden Drähte stets eine größere Länge als die Seele haben. Dieses würde in verstärktem Maße auch von dem Verhältnis der Drähte in aufeinander folgenden Lagen gelten, wenn gleiche Drallängen eingehalten würden. Das ist aber schon aus fabriktechnischen Gründen nicht angängig. Mit wachsender Lagenzahl muß auch die Ganghöhe steigen, da sonst das Kabel nicht die erforderliche Festigkeit erhalten könnte und auch zu stark würde. Daher muß durch die verschiedene Länge des Dralls im Verhältnis zu dem Kern ein solcher Ausgleich geschaffen werden, daß die Einzellänge sämtlicher Drähte eines Kabels nur unwesentlich, höchstens um 2 v. H. (s. S. 9), die wirkliche Kabellänge überschreitet. Dieses Verhältnis läßt sich rechnerisch bestimmen. Zum Einhalten der Bedingung, daß in keiner Lage die Drahtlänge um mehr als 2 v. H. größer als die Kabellänge sein soll, ergeben sich in der Praxis sehr verschiedene Drallängen, nicht nur zwischen ganz verschiedenen Typen, sondern auch zwischen den Lagen desselben Kabels. Der Unterschied in den Drallängen beträgt bei den hochpaarigen Kabeln bis über $1^1/_2$ m.

Ein sehr wichtiges Moment für die Forderung möglichst gleichmäßiger Adernlänge liegt — neben der Kostenfrage — noch darin, daß mit wachsender Länge auch der Leitungswiderstand und die Kapazität der einzelnen Adern steigen würden. Ein solches Kabel würde also wachsend ungünstigere Eigenschaften erhalten und außerdem die Fehlereingrenzung durch Messung sehr erschweren und die Resultate ungenau gestalten. Namentlich in dieser Hinsicht bildet die mit der Adernlage steigende Ganghöhe einen wirksamen Ausgleich. Die Verkürzung oder Verlängerung des Dralls bietet schließlich auch noch die Möglichkeit, in eine Adernlage weniger oder mehr Adern aufzunehmen.

Die R. T. V. hat bisher davon abgesehen, für die Länge des Dralls bestimmte Vorschriften zu geben, wie sie z. B. durch die Vertragsbestimmungen fremder Verwaltungen und Gesellschaften teilweise bis ins einzelne festgelegt

[1]) Baur, S. 150.

sind. Der Standpunkt der R. T. V. entspricht den guten Erfahrungen der Praxis; nur für die Systemkabel sind neuerdings die Drallängen festgesetzt worden.

Die Größe des Querschnittes der Kabel hängt von dem Aderdurchmesser und der Fabrikationsmethode ab. Die Menge der Beilauffäden, die Höhe des Dralls und die Festigkeit der Verseilung können bei gleicher Adernzahl ziemlich erhebliche Differenzen bringen. Es wird seitens der R. T. V. hierin ein ausreichender Spielraum gelassen, indem den einzelnen Werken der ihrer besonderen Fabrikationsmethode am besten angepaßte Durchmesser für die einzelnen Typen innerhalb gewisser Grenzen zugestanden wird. Auch in dieser Frage zwingt die Konkurrenz schon dazu, daß, soweit irgend angängig, den günstigsten Bedingungen für die Kabel entsprochen wird. Ganz allgemein betrachtet, ist — ordnungsmäßige Fabrikation vorausgesetzt — dasjenige Kabel das beste, welches bei gleicher Adernzahl und gleichen elektrischen Eigenschaften den kleinsten Querschnitt hat, da es dann am leichtesten, handlichsten und billigsten ist, und weil es auch in den teueren Kanälen den geringsten Raum beansprucht. Namentlich die außerordentliche Entwickelung der Fernsprechnetze drängt immer zwingender zu möglichst kleinen Kabelquerschnitten, damit für die Kabel mit höherer Adernzahl die auch sonst üblichen Kanalprofile benutzt werden können; hierauf wird später noch näher eingegangen werden.

Der Raumbedarf für eine einzelne Ader oder ein Adernpaar in dem fertigen Kabel im Verhältnis zum ganzen Querschnitt ist für die verschiedenen Typen der Kabel praktisch im allgemeinen ziemlich unabhängig von der jeweiligen Adernzahl. Er schwankt um einen gewissen Mittelwert und ist je nach der Lieferfirma verschieden. Man erhält ihn für ein speziell vorliegendes Kabel durch Division des Kabelquerschnittes in qmm (ohne Armatur und Bleimantel) durch die Zahl der Adern oder Adernpaare; hierüber werden an passender Stelle noch einige Zahlen gegeben werden. Der anteilmäßige Raumbedarf für eine Ader ist aber auf jeden Fall größer, als er sich nach dem absoluten Durchmesser der Ader berechnet. Je mehr sich diese beiden Werte nähern, desto günstiger ist die Ausnutzung der Querschnittsfläche und um so besser wird das Kabel hinsichtlich seines Umfanges, Gewichtes und Preises. Eine solche Vergleichsberechnung ist aber nur für Kabel mit fester Isolierhülle genau auszuführen.

Viel umstritten ist noch die Frage der Reserveadern. Es handelt sich darum, ob über die vorgeschriebene Zahl hinaus noch einige Adern mehr in die Kabel eingefügt werden sollen. Der ganzen Sachlage nach kommen für diese Angelegenheit nur Fernsprechkabel hoher Adernzahl in Betracht. Nach älteren Lieferungsbedingungen der R. T. V. war es den Lieferanten freigestellt, eine gewisse Adernzahl überzählig in die Kabel zu legen. Für die Entscheidung kommen hierbei neben der technischen Seite zwei entgegengesetzte wirtschaftliche Interessen, diejenigen der Kabelwerke und der abnehmenden Verwaltung, in Betracht. Zunächst wird mit großer Wahrscheinlichkeit von vornherein anzunehmen sein, daß die Fabrikanten die Mehradern nicht kostenlos zur Verfügung stellen, daß sie also bei ihren Kalkulationen, entweder jeder für sich oder auf Grund von Verhandlungen in ihren Interessengemeinschaften

diese Ersatzadern in die Preise der Kabel einrechnen. Die Verwaltung wird also eine Anzahl Adern zu bezahlen haben, für die sie nach Maßgabe ihrer Abschluß- und sonstigen technischen Einrichtungen zunächst und in der Regel für alle Zeit gar keine Verwendung haben kann. Die Reserveadern bringen dazu eine unerwünschte Komplizierung in die Kabelanlagen: die Adern müssen besonders abgeschlossen werden und erschweren die Übersichtlichkeit und die Buchführung über die Beschaltung der Kabel, sie können schließlich auch zu falschen Verbindungen in den Lötstellen usw. Anlaß geben. Es spricht also auf Seiten der Verwaltung vom wirtschaftlichen und technischen Standpunkt aus recht wenig zugunsten einer solchen Maßnahme. Auch die Kabelwerke dürften ihrerseits kein überwiegendes Interesse an den Reserveadern haben, denn es liegt die Möglichkeit vor, daß das Arbeiterpersonal weniger sorgfältig auf die Fabrikation achtet, wenn es weiß, daß auf jeden Fall für eine etwa schlecht ausgefallene Ader ein Ersatz vorhanden ist.

In den Vertragsvorschriften der R. T. V. sind zwei Möglichkeiten vorgesehen, bei Vorhandensein fehlerhafter Adern die Interessen der beiden Parteien auszugleichen, ohne daß Reserveadern eingefügt werden: Nach den Bedingungen muß nämlich die Lieferfirma die bei der Abnahme oder innerhalb der Gewährfrist ermittelten Fabrikationsfehler auf ihre Kosten beseitigen. Da nach den Abnahme- und Prüfverfahren der R. T. V. solche Fehler mit Sicherheit spätestens bis zum Ablauf der Gewährzeit bemerkt werden, so ist hiermit das Interesse der Verwaltung ausreichend sichergestellt. Es wird also gegebenenfalls die Teilstrecke mit der schlechten Ader zur Verfügung gestellt und muß gegen eine gute Länge ausgewechselt werden. Dieses beansprucht aber durch die erforderlichen Arbeiten Zeit. Wenn auch die Kosten von der Firma getragen werden, so ist doch andererseits die Anfertigung neuer Lötstellen nie vorteilhaft, da neue Fehler entstehen können. Der andere, gleichfalls vertragsmäßig festgelegte Weg ist der, daß die Kabelwerke die schadhaften Adern bezahlen. Die Kabel werden also trotz der Fehler abgenommen und bleiben im Betriebe. Diese Forderung kann aber wieder recht erhebliche Kosten für die Werke mit sich bringen. Es müssen nämlich nicht nur die Kosten für die fehlerhafte Ader in der einen Kabellänge zwischen den beiden Lötstellen, einschließlich der anteilmäßigen, vorher entstandenen Verlegungskosten [1]), erstattet werden, es sind vielmehr die gesamten Kosten für die ganze Leitungslänge vom Amt durch die schadhafte Teilstrecke hindurch bis zum Endabschluß zu vergüten, da naturgemäß die ganze Leitung unbenutzbar bleibt, wenn auch nur ein einziger Fehler in ihr vorhanden ist. Eine solche Bezahlung fehlerhafter Adern werden die Kabelwerke ihrerseits im wohlverstandenen eigenen Interesse daher nur dann erstreben, wenn es sich um

[1]) Die Verlegungskosten können nicht nach allgemeinen Durchschnittssätzen angegeben werden und sind daher für jeden Fall überschläglich zu berechnen. Bei Erdkabeln werden die Kosten geringer sein als bei Röhrenkabeln, auch spielt unter Umständen die vorhandene Besetzung des Kanals mit Kabeln für die anteilmäßige Berechnung eine Rolle. Im allgemeinen werden die Verlegungskosten für 1 m Doppelader in mittelstarken Kanälen etwa zwischen 3 und 5 ₰ (einschließlich der anteiligen Kosten für die Kanäle, Brunnen, Pflasterungen und Lötstellen) schwanken. Die Materialkosten für die Doppelader mit 0,8 mm-Leitern betragen im Durchschnitt in den starken Fernsprechröhrenkabeln rd. 4,5 ₰ für 1 m, in Erdkabeln etwa 5,3 ₰.

kurze Leitungen handelt. Sie liefern bei längeren Leitungen lieber eine Ersatzlänge und nehmen die entstehenden Arbeitskosten und den Verlust an Materialwert in den Kauf, da sie sich dann unter Umständen doch noch besser stehen, als wenn sie z. B. eine kilometerlange Doppelader bezahlen müssen.

Aber selbst wenn Ersatzadern vorhanden sind, wird es für die Betriebsverwaltung gelegentlich zweckmäßiger sein, diese nicht für die schlechten Adern einzuschalten, da es bei ungünstiger Lage der Lötstellen oder bei kurzen Leitungen billiger und vom Betriebsstandpunkt besser sein kann, auf die einzelne Leitung ganz zu verzichten, als die Lötstellen zu öffnen.

Die Trocknung und Tränkung der Kabel.

Einige Isoliermaterialien der Kabel enthalten etwas Wasser als natürlichen Bestandteil oder nehmen während ihrer Verarbeitung Wasser auf. Da aber Feuchtigkeit die elektrischen Eigenschaften der Isolierhülle ungünstig beeinflußt, so wird darnach zu streben sein, sie dem Material soweit als möglich zu entziehen. An und für sich läßt sich der Wassergehalt jedes Materials durch geeignete Trockenverfahren fast vollständig beseitigen. Durch zu scharfe Trocknung können indessen die Stoffe leiden und an Isolierfähigkeit einbüßen. Es wird also für die verschiedenartigen Isolationsmaterialien gewisse, wenn auch sehr niedrige Feuchtigkeitsgrade geben, mit denen man sich in der Praxis abfinden muß.

Die Pflanzensäfte zunächst haben einen ziemlich beträchtlichen, natürlichen Gehalt an Wasser, der sich bei den Reinigungsverfahren[1]) teilweise sogar noch erhöht. Durch die Trockenprozesse lassen sich jedoch diese Prozentsätze sehr weit herabdrücken, ohne daß das Material Schaden leidet. Im allgemeinen wird dieses dann bei seiner Verarbeitung als Isolierhülle für die Kabeladern keine Feuchtigkeit wieder aufnehmen. Anders liegt es bei den übrigen Isoliermaterialien, die infolge ihrer hygroskopischen Eigenschaften während der Herstellung der Einzeladern und der Bildung der Kabelseele stets etwas Feuchtigkeit anziehen. Es muß dann dafür gesorgt werden, daß diese Feuchtigkeit vor dem Aufbringen der luftabschließenden Armierung aus dem Kabel wieder entfernt wird.

Die Methoden zum Austrocknen der Kabel haben im Laufe der Entwickelung der Technik gewechselt. Das ursprüngliche Verfahren ist dasjenige der einfachen Trockenkammer. Das Kabel wird in abgeschlossene Räume gebracht, dort auf große, mit Dampf geheizte Wärmteller gelegt und dann der allmählichen Trocknung überlassen. Ein solcher Trockenprozeß dauert zehn und noch mehr Tage und ist sehr unwirtschaftlich. Vielfach ist auch das Auskochen in heißer Imprägniermasse gebräuchlich gewesen. Diese Methode[2]) arbeitet erheblich schneller und liefert im allgemeinen günstige Ergebnisse; als wesentliche Nachteile werden jedoch die Verflüchtigung der leichten Bestandteile der Imprägniermassen und der schädliche Einfluß der aus den offen stehenden Kesseln aufsteigenden Dämpfe auf die Luft in den Fabrikräumen angegeben.

---

[1]) Zu vgl. die Besprechung von Guttapercha und Gummi im III. Abschnitt. — [2]) Zu vgl. Baur, S. 162.

Das jetzt ziemlich überall gebräuchliche Verfahren ist das **Trocknen im Vakuum**. Dieses beruht auf der physikalischen Erscheinung, daß Wasser bei derselben Temperatur im luftverdünnten Raum erheblich schneller als unter Atmosphärendruck verdampft, oder anders ausgedrückt, daß die Verdampfungstemperatur des Wassers mit abnehmendem Druck fällt; sie beträgt

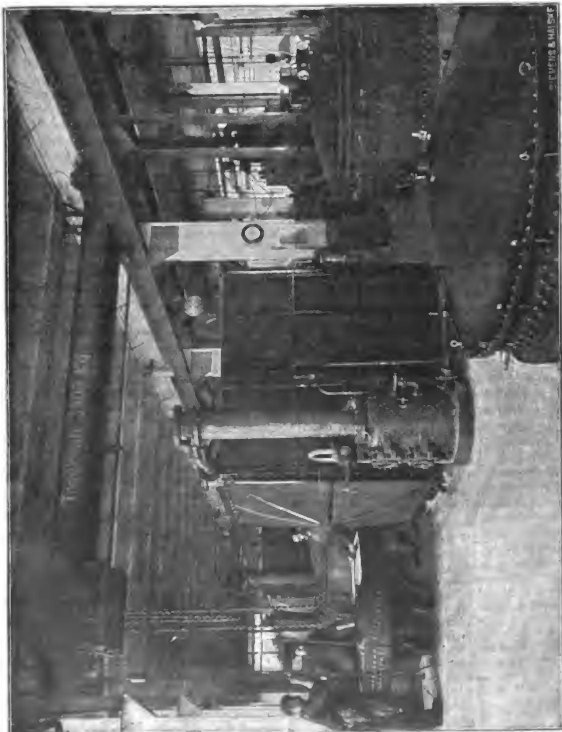


Abb. 7.

z. B. bei 50 mm nur noch 38° C. Ein feuchtigkeitshaltiger Körper wird also im Vakuum verhältnismäßig viel schneller und mit geringerer Wärmezufuhr getrocknet werden können, als es bei dem äußeren Luftdruck möglich sein würde.

Die Einrichtung besteht im Prinzip darin, daß die Kabel in sogenannten Vakuumtrockenschränken einer gleichmäßigen Erwärmung von etwa 60 bis

100° C ausgesetzt werden. Durch eine Luftpumpenanlage wird in dem Raum ein Vakuum hergestellt und die verdampfende Feuchtigkeit fortgezogen. Die Trockenschränke stellen in der üblichen Ausführung große eiserne Behälter von etwa würfelförmiger Gestalt dar. Sie müssen recht feste Wandungen haben und luftdicht verschließbar sein. Die erforderliche Temperatur wird in dem Schrank durch Dampf unter 4 bis 6 Atmosphären Druck erzeugt, der durch Heizschlangen hindurchgeführt wird. Außerdem ist an dem Schrank noch ein starkwandiges Abzugsrohr vorhanden, das mit der Zuführung zu der Evakuierungsmaschine verbunden ist. In **Abb. 7** ist ein solcher Trockenschrank abgebildet. Das Vakuum wird in diesen Schränken bis auf etwa 85 bis 95 v. H. gesteigert. Ein absolutes Vakuum ist nicht möglich, da trotz besten Abschlusses doch stets etwas Luft durch die Tür zuströmt. In das Luftabzugsrohr ist ein Kondensator zur Ansammlung der verdunsteten Feuchtigkeit eingebaut, der den augenblicklichen Stand der Luftfeuchtigkeit und damit den Grad der Trocknung erkennen läßt. Die Kabel sind in runden, offenen, eisernen Gefäßen, wie in der Abbildung links ersichtlich ist, aufgerollt und werden auf leicht beweglichen, brillenartigen Rosten in die Vakuumöfen geschoben. Die Zeit für die Austrocknung der Kabel wird durch dieses Verfahren sehr abgekürzt. Sie ist am geringsten bei Papierluftraumkabeln, da diese überall Lufträume zum Entweichen des Wasserdampfes haben, und beträgt, je nach der Stärke dieser Kabel, etwa 10 bis 24 Stdn. Faserstoffkabel erfordern etwa die doppelte Zeit.

Die mit diesem Austrocknungsverfahren zu erzielenden Isolationswerte können außerordentlich hoch getrieben werden. Werte von der Größenordnung 10^4 und selbst 10^5 Megohm kann man in den Papierkabeln ohne große Schwierigkeit erzielen, doch sind, wie bereits auf S. 13 erwähnt ist, wegen der notwendigen Festigkeit des Materials gewisse Schranken gesetzt. Es ist andererseits zum mindesten zweifelhaft, ob solche hohe Isolationswerte noch einen praktischen Zweck haben, zumal die Kapazität selbst bei scharfer Trocknung nicht unter gewisse Grenzen fällt. Auch fragt es sich, ob der für die Übertragung der Fernsprechströme etwa erzielte Gewinn im Verhältnis zu den höheren Kosten für die längere Trocknung überhaupt noch wesentlich in Betracht kommt; man begnügt sich in der Praxis allgemein mit guten Mittelwerten.

Neben der künstlichen Trocknung müssen die mit Faserstoffen oder deren Ersatzmaterialien isolierten Telegraphenkabel noch einer Tränkung unterworfen werden. Für Kabel mit Papierluftraumisolierung wird das Tränkverfahren nicht angewendet, dagegen kommt es zum Teil auch noch für Kabel mit Baumwoll- und Seidenisolation in Betracht. Sämtliche Faserstoffe lassen zwischen den einzelnen Fäden immer ein klein wenig Raum, in den Feuchtigkeit eindringen kann. Denn die Umspinnungs-pp-Verfahren haben doch im Grunde nur den Zweck, die blanken Leiter vor Berührungen zu schützen, isolierende Eigenschaften kommen den betreffenden Materialien teilweise weniger zu. Es wird daher erforderlich, die kleinen Zwischenräume in der Bespinnung auszufüllen und gleichzeitig der ganzen Hülle eine verstärkte isolierende Wirkung zu geben.

Der Zweck der Imprägnierungen liegt neben der Erhöhung des Isolationswertes der Fasern hauptsächlich darin, diese soweit als möglich unfähig

zu machen, wieder Feuchtigkeit aufzunehmen. Voraussetzung dafür ist aber, daß die Tränkmasse selbst nicht hygroskopisch ist und außerdem gleichen oder höheren Isolierwert besitzt als das zu tränkende Material, da sie sonst den Zustand des Kabels verschlechtern würde.

Die zur Tränkung der Kabel verwendeten Massen sind sehr verschieden. Die Preisfrage und die Beschaffungsmöglichkeit spielen für die einzelnen Kabelwerke bei sonst ausreichender elektrischer Güte oft eine ausschlaggebende Rolle. Die Imprägniermassen sind in allen Fällen aus Harzen, Wachsen und Ölen zusammengesetzt. In der Hauptsache kommen Kolophonium, Pech, Teer, Paraffin, Ceresin, Vaseline, verschiedenartige Öle, namentlich Harzöle und Mineralöle, und auch sonst noch manche andere isolierende Materialien in Betracht.

Die allgemeinen Anforderungen[1]) an eine gute Tränkungsmasse für Telegraphen- und Fernsprechkabel kann man folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Masse muß möglichst hohen Isolierwert besitzen, der sich bei Temperaturschwankungen nicht wesentlich verändern darf; sie muß vor allem undurchlässig für Feuchtigkeit sein.

2. Die Dielektrizitätskonstante der Isolierhülle soll durch die Tränkung nicht erheblich erhöht werden.

3. Der Kupferleiter und die Isolierhülle selbst dürfen durch die Masse nicht schädlich beeinflußt werden, diese soll also möglichst säurefrei sein.

4. Die Masse muß bei gewöhnlicher Temperatur geschmeidig und biegsam sein, sie darf andererseits bei den vorkommenden Kältegraden nicht ganz erstarren.

5. Die Masse soll bei langer Lebensdauer ihre guten Eigenschaften nicht verlieren, sie darf sich also mit der Zeit namentlich nicht zersetzen oder oxydieren.

6. Die Masse muß unter allen Betriebsbedingungen, denen das Kabel ausgesetzt wird, chemisch beständig bleiben.

7. Das Fließen der Masse muß bei mäßiger Temperatur (etwa 110 bis 150°) eintreten, damit ein Verbrennen der Fasern usw. vermieden wird; sie muß bei dieser Temperatur recht dünnflüssig sein, da sonst nicht alle feinen Hohlräume ausgefüllt werden.

8. Die Masse muß klebrig genug sein, um am Isoliermaterial gut hängen zu bleiben; es darf also z. B. in dem Kabel kein Sacken von oben nach unten eintreten.

Die Verfahren zur Tränkung der Kabel sind verschieden. Da die Masse sämtliche Zwischenräume der Isolierhülle vollständig ausfüllen und die noch vorhandene Luft und Feuchtigkeit aus diesen Hohlräumen austreiben soll, so würde ein einfaches Durchziehen der getrockneten Kabel durch ein Bad mit flüssiger Imprägniermasse noch keinen genügenden Erfolg bringen, es muß vielmehr das Kabel eine gewisse Zeit in der heißen Masse liegen, bis Luft und Feuchtigkeit vollständig verdrängt worden sind. Die Tränkung wird wesentlich erleichtert, wenn das Kabel noch warm, unmittelbar aus dem

[1]) Zu vgl. Baur, S. 165; Wietz, S. 44. Viele interessante Hinweise enthält auch das Werk von Turner u. Hobart, Die Isolierung elektrischer Maschinen.

Trockenofen in das Imprägnierbad gebracht wird, da die Isolierfaser dann die Masse besser einsaugt.

Bei dem jetzt im allgemeinen gebräuchlichen Verfahren bedient man sich besonderer Imprägnierkessel. Die Kabel werden von den Trockentellern der Vakuumschränke in andere, ebenfalls kreisrunde Gefäße aus Kesselblech umgelagert und in diesen auf einen Bock in einem großen runden eisernen Kessel mit doppelter Wandung gebracht; in Abb. 7 sind vorn rechts solche Imprägnierkessel zu sehen. Nach genügender Erwärmung wird in dem Kessel, wie im Trockenofen, ein Vakuum erzeugt, um die Feuchtigkeit, welche das Kabel bei der Umlagerung etwa aufgenommen haben könnte, wieder zu entfernen. Darauf wird die vorgewärmte flüssige Imprägniermasse eingelassen. Darin bleiben die Kabel dann eine, nach den Typen verschieden bemessene Reihe von Stunden hindurch unter gleichmäßiger Temperatur und Normaldruck liegen. Der Teller ist auf dem Bock drehbar, damit das Kabel direkt aus der warmen Masse heraus in der Bleipresse mit dem Bleimantel umpreßt werden kann; es müssen also die beiden Vorrichtungen möglichst dicht beieinander stehen, so daß das Kabel vor dem Einführen in die Bleipresse nicht erst wieder erkaltet (zu vgl. Abb. 9).

Die Armatur der Kabel.

Die hygroskopischen Papier- und Faserstoffkabel bedürfen zu ihrem Schutz gegen Feuchtigkeit eines luft- und wasserdichten Abschlusses, der in Gestalt eines nahtlosen Bleimantels[1]) auf die Kabelseele gebracht wird; außerdem werden in der Regel auch die gegen äußere Einwirkungen empfindlichen Gummikabel mit einem Bleimantel versehen.

Ein Bleischutz ist zuerst bei den Guttaperchakabeln angewendet worden, für die er jedoch jetzt nur noch unter besonderen Umständen gewählt wird. Wie so manche andere Arbeiten in der Entwickelung der Kabeltechnik ist auch die Erfindung[2]) des Bleischutzes ein Verdienst von Werner Siemens, der seine guttaperchaisolierten Kabel auf diese Weise wirksamer zu sichern gedachte. Das erste Verfahren — Einziehen der isolierten Drähte in Bleiröhren und Zusammenpressen mit einem Zieheisen — hatte manche Nachteile an sich: der Bleimantel legte sich nicht gleichmäßig um die Ader, auch war durch die Art der Fabrikation der Eintritt von Feuchtigkeit in das Kabel nicht genügend ferngehalten. Siemens erkannte sehr bald diese Mängel und konstruierte im Jahre 1879 die erste, inzwischen freilich von neueren Konstruktionen wieder überholte Maschine zur wirklichen Umpressung des Bleimantels. In ihr ist derselbe Erfindergedanke verwirklicht wie in der Guttaperchapresse[3]), nur sind die Abmessungen erheblich größer; außerdem ist der Kolben durch eine hydraulische Preßvorrichtung ersetzt worden, da das Blei nur unter außerordentlich hohem Druck als plastische Masse fortbewegt und geformt werden kann.

Das Blei wird entweder rein oder mit einem Zusatz von Zinn verwendet. Es ist nicht jedes an und für sich sonst gute Material verwendbar, die Er-

[1]) Zu vgl. Coyle and Howe, S. 191 ff. — [2]) Nach Baur (S. 361) ist die Erfindung des Bleischutzes schon erheblich älter, auch wird dort als Erfinder der ersten Bleipresse der Ingenieur Borel (Neuchâtel) genannt. — [3]) Näheres zu ersehen im Abschnitt III über Konstruktion der Guttaperchakabel.

fahrung und praktische Übung sprechen hierbei wesentlich mit; jedenfalls ist möglichste chemische Reinheit des Bleis die beste Vorbedingung. Nicht legiertes Blei ist aber Zugbeanspruchungen nur sehr wenig gewachsen. Die absolute Festigkeit des reinen Bleis beträgt nur 125 kg für 1 qcm. Die zulässige Beanspruchung liegt jedoch höchstens bei etwa einem Viertel der absoluten Festigkeit, da Blei eine sehr große Dehnung besitzt (etwa 40 mal so groß wie Schmiedeeisen). Auch kommt noch eine eigentümliche Erscheinung in Betracht: reines Blei „fließt" nämlich, d. h. es sackt im Laufe der Zeit ganz langsam von oben nach unten.

Für Kabel, die auf Zug beansprucht werden oder die auf größere Längen senkrecht hängen, muß daher das Blei einen Zusatz erhalten, welcher es fester und zäher macht. Die Erfahrung hat gelehrt, daß eine Beimengung von 3 v. H. Zinn das Maximum gleichzeitig an Festigkeit und Geschmeidigkeit bietet, ein geringerer Zusatz erreicht nicht genügende Festigkeit, ein größerer macht das Material spröde. Die Mischung muß sehr sorgfältig ausgeführt werden, da die beiden Metalle sich nur schlecht miteinander legieren. Es ist mehrfach die Beobachtung gemacht worden, daß in derselben Kabellänge der Zinngehalt des Bleimantels nicht gleichmäßig war und in weiten Grenzen, bis tief unter 1 v. H., schwankte; ein Vorwurf für die Kabelwerke kann jedoch hieraus nicht ohne weiteres hergeleitet werden. Ein Vorteil der Zinnbeimischung besteht weiter darin, daß das Metall dadurch eine größere Widerstandsfähigkeit gegen organische Säuren erhält, und dieser Umstand ist wohl die erste Veranlassung zur Beimengung des Zinns gewesen.

An Stelle der schwer auszuführenden Mischung von Blei und Zinn ist in Amerika versucht worden, die Kabelmäntel äußerlich mit einem Zinnüberzuge zu versehen. Dieses Verfahren scheint zunächst einen besseren Schutz gegen chemische Angriffe zu sichern, doch dürfte dieser, immerhin noch bestrittene Vorzug nicht sehr hoch gegenüber der geringeren Festigkeit einzuschätzen sein.

Die absolute Festigkeit einer dreiprozentigen Bleizinnlegierung beträgt rund 210 kg für 1 qcm. Es hat also z. B. ein Kabel von 60 mm Durchmesser über der Kabelseele bei einem 3 mm starken Bleimantel hinsichtlich des letzteren eine absolute Festigkeit von etwa 1250 kg[1]), deren Inanspruchnahme aber wegen der großen Dehnung für einen hohlen Bleimantel bei weitem nicht zugelassen werden könnte. Würde beim Verlegen oder Einziehen von Kabeln der Bleimantel allein die gesamte Zugbeanspruchung aufnehmen müssen, so würde er unter Umständen schließlich am vorderen Ende gewissermaßen einen hohlen, von dem Kabel abgezogenen Schlauch darstellen. Es ist also die zulässige Zugbeanspruchung einer hohlen Bleiröhre sehr gering. Anders gestalten sich allerdings die Verhältnisse bei einem fertigen Kabel. Hier nimmt die Gesamtheit der Kupferdrähte zum weitaus größten Teil die beim Einziehen der Kabel entstehende Zugbeanspruchung auf, und zwar um so mehr, je fester der Bleimantel an der Angriffstelle, also vorn am Anfang, auf der Kabelseele aufliegt. Diese Wirkung kann man durch Klopfen des Bleimantels auf das Kabel noch erhöhen. Immerhin wird man bei schweren und langen Kabeln

[1]) $\left(\frac{66^2}{4} - \frac{60^2}{4}\right)\pi = F = 594$ qmm. $P = k\,F = 210 \,.\, 5{,}94 \sim 1250$ kg.

mit einer geringen Dehnung des Bleis rechnen müssen. Da aber bei guter Fabrikation der Kabel der Bleimantel an sich verhältnismäßig wenig auf Zug beansprucht wird, so können Zugbeanspruchungen von etwa 3000 kg von starken Kabeln noch ohne Gefahr ausgehalten werden. Noch günstiger liegen die Verhältnisse für bewehrte Kabel, bei denen die eisernen Schutzdrähte die übrigen Kabelbestandteile wesentlich entlasten und fast ganz allein die Zugkräfte aufnehmen.

Die Stärke der Bleimäntel[1]) richtet sich nach dem Umfange der Kabelseele, sie schwankt für Telegraphen- und Fernsprechkabel von unter 1 mm bis zu 4 mm. Der Mantel muß kräftig genug sein, um auch die beim Auftrommeln und Verlegen der Kabel entstehenden Biegungen ohne Gefahr des Brechens oder Knickens auszuhalten. Solche Bedenken liegen um so mehr vor, je loser der Bleimantel auf das Kabel gepreßt, je mehr Zwischenraum also zwischen Bleimantel und Kabelseele vorhanden ist. Auch für das Einziehen der schweren Kabel ist das feste Umpressen von großer Wichtigkeit. Je enger der Bleimantel anliegt, je kleiner also der Durchmesser des Kabels ist, desto geringer werden die Formveränderungen und desto widerstandsfähiger ist der Bleimantel selbst, da er dann um so weniger auf einen Zylinder von geringerem Querschnitt zusammengezogen werden kann.

Eine Zeitlang ist die Verwendung eines doppelten Bleimantels, von zusammen derselben Stärke wie ein einfacher Mantel, als besonders vorteilhaft betrachtet worden. Man ging dabei von der Ansicht aus, daß Fabrikationsfehler des einen Mantels durch die andere Hülle verdeckt und unschädlich gemacht würden, und daß bei einer mechanischen Verletzung der Kabel im allgemeinen nur der äußere Mantel getroffen und daher die eigentliche Kabelseele noch geschützt bleiben würde. Der Zwischenraum zwischen den beiden Röhren wurde nach Möglichkeit mit weichen Harzen usw. ausgefüllt, um bei Beschädigungen ein Weitergehen der Feuchtigkeit zu verhüten. Auch bei der R. T. V. sind für Fernsprechpapierkabel früher doppelte Bleimäntel zugelassen und verwendet gewesen; man ist hiervon jedoch wieder abgekommen. Die Praxis hat nämlich ergeben, daß die theoretischen Voraussetzungen für die — an sich auch noch teurere — Konstruktion doppelter Bleimäntel nicht stichhaltig sind, daß vielmehr im Gegenteil eine derartige Schutzhülle eher eine Gefahr für das Kabel darstellt. Das äußere Rohr wird zunächst leichter beschädigt als ein doppelt so starkes Einzelrohr, es gelangt also schon infolge geringerer Ursachen Feuchtigkeit in den Hohlraum. Diese dringt dann nach den physikalischen Gesetzen der Kapillarität in der engen und niemals vollständig dicht mit nichthygroskopischen Massen ausgefüllten Röhre weiter, findet dabei gelegentlich irgendwo eine undichte Stelle des inneren Mantels und gefährdet dadurch die Isolation des Kabels.

Die allgemeinen Anforderungen an einen guten Bleimantel für Telegraphen- und Fernsprechkabel kann man etwa folgendermaßen zusammenfassen:

[1]) Vom Verbande Deutscher Elektrotechniker ist die Wandstärke der Bleimäntel für Starkstromkabel einheitlich festgesetzt; Strecker, Hilfsbuch, S. 926; sie wird nach Baur (S. 167) auch wohl nach der Größe $\left(0,9 + \frac{5}{100} D\right)$ mm (D Durchmesser des Kabels über der Isolation) bestimmt.

1. Das Rohmaterial soll möglichst rein sein; die etwaige Zinnbeimengung soll 3 v. H. betragen, die Mischung muß möglichst gleichmäßig hergestellt werden.

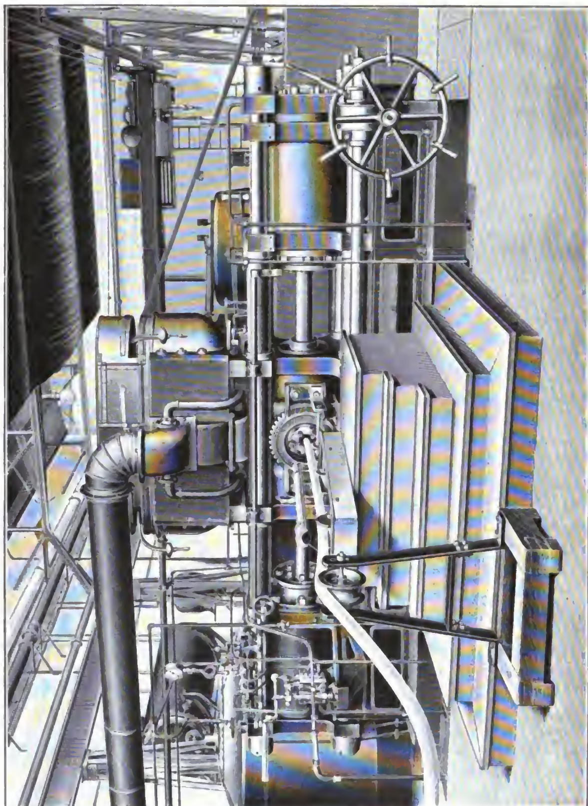


Abb. 8.

2. Der fertige Bleimantel darf keine Unreinigkeiten oder zufällige Beimengungen enthalten, er muß durchaus gleichmäßig, ohne Blasen oder schwache Stellen sein und soll möglichst eng ohne Hohlraum auf der Kabelseele liegen.

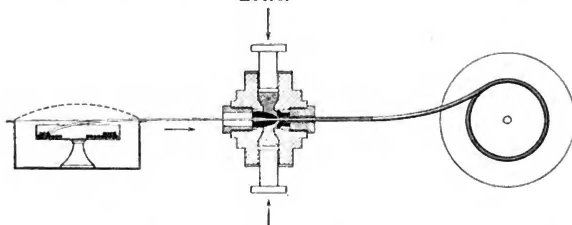
3. Die äußere Oberfläche muß ganz glatt und frei von Rissen, Löchern, Buckeln und Falten sein; zugelassen sind nur die sogenannten Bambusringe.

4. Der Bleimantel soll eine einfache Röhre bilden, deren Wandstärke überall gleich stark und dem Durchmesser des Kabels angepaßt ist; der Querschnitt soll auf der ganzen Länge einen Kreisring darstellen, der durch das Auftrommeln des Kabels keine wesentliche Abflachung erhalten darf — höchstens etwa 5 bis 6 v. H.

5. Der Bleimantel muß für die ganze Kabellänge aus einem einzigen Stück ohne jede Naht und ohne Verbindungs- oder Schweißstellen bestehen.

Die Aufbringung der Bleimäntel auf die Kabel erfolgt in der Bleipresse[1]), die in Deutschland fast nur noch nach der Konstruktion des Ingenieurs Huber (Vertrieb: Grusonwerke der Firma Friedr. Krupp, Magdeburg-Buckau) verwendet und danach auch wohl Huberpresse genannt wird. In **Abb. 8** ist eine solche Maschine mit einem ablaufenden Kabel dargestellt, **Abb. 9**[2]) zeigt schematisch den Vorgang der Bleiumpressung. Die Hauptbestandteile der Maschine sind der Dorn und die Matrize mit ihren Haltern und die beiden einander gegenüberliegenden hydraulischen Pressen,

Abb. 9.



welche je aus dem Stahlzylinder und dem Preßstempel bestehen. In der Mitte oberhalb der Pressen ist eine trogförmige Bleipfanne von etwa 1800 kg Fassungsvermögen mit einer Feuervorrichtung aufgebaut; außerdem sind noch verschiedene Hilfs- und Sicherheitsteile vorhanden.

Das Blei wird in Broten in die Schmelzpfanne gebracht und dort auf einem Hitzegrad von etwa 450° C gehalten; der Schmelzpunkt des reinen Bleis liegt bei 326° C, er ist durch die geringe Zinnlegierung nur unwesentlich erhöht. Aus diesem Schmelzofen wird das flüssige Blei durch Öffnungen in den Zylinderwandungen in die darunter liegenden Pressen eingelassen. In den Pressen kühlt sich das Blei schnell ab und erstarrt zu vollzylindrischen Klötzen. Diese Abkühlung sinkt jedoch nur wenig unter den Schmelzpunkt, da die Rezipienten durch die ständige Nachfüllung mit flüssigem Blei sehr heiß erhalten bleiben; zu Beginn der Tagesarbeit werden diese außerdem noch durch eine Heizvorrichtung besonders angewärmt. Die verhältnismäßig hohe Hitze in den Zylindern ist erforderlich, da sonst das Blei zu weit erkalten und dann selbst bei dem großen Druck der Preßkolben nicht mehr bildsam

[1]) Zu vgl. auch Baur, S. 365 ff. — [2]) In der Abb. 9 sind zur besseren Erklärung das durchlaufende Kabel in Seitenansicht und die Hauptkonstruktionsteile der Bleipresse — die in Wirklichkeit horizontal zueinander gelagert sind — in Aufsicht dargestellt.

genug sein würde. Nach Einlassen der Bleifüllung wird die Pumpe in Tätigkeit gesetzt, welche die Preßstempel in den beiden Zylindern vorwärts treibt und gleichzeitig die weitere Zufuhr von Blei durch Abschluß der Füllöffnungen abschneidet, ehe noch Luft in die Rezipienten eindringen kann. Dieses ist sehr wesentlich, da sonst Luftblasen im Bleimantel entstehen können.

Das Kabel wird aus dem Imprägnierkessel oder von der Kabeltrommel an einer Längsseite (senkrecht zu den Zylindern) in die Maschine geführt und passiert zunächst den trichterförmigen Dorn, dessen Öffnung durch den Durchmesser der Kabelseele über der Isolierhülle derart bestimmt ist, daß das Kabel bequem ohne Festklemmen durchlaufen kann. Gegenüber dem Dorn steht die Matrize, deren innerer Durchmesser genau nach der beabsichtigten Stärke des bleiumpreßten fertigen Kabels bemessen wird. Zwischen Dorn und Matrize wird das Blei durch den Vorschub der hydraulisch betriebenen Preßkolben durch den konisch sich zuspitzenden ringformigen Raum um die Kabelseele gepreßt. Das Kabel läuft auf der anderen Maschinenseite (zu vgl. die Abb. 8) fertig heraus und wird aufgetrommelt. Von besonderer Wichtigkeit sind bei dem ganzen Vorgang der gleichmäßige Zulauf und Ablauf des Kabels und das gleichmäßige Arbeiten der Maschine.

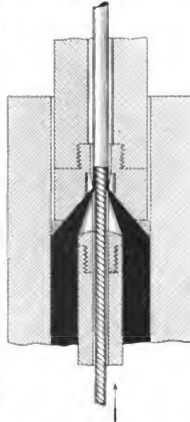
Der Bleimantel des ablaufenden Kabels hat infolge des hohen Druckes in der Presse eine erhöhte Temperatur. Es ist daher vielfach, besonders für Papierluftraumkabel, üblich, das Kabel vor dem Auftrommeln noch unter einer Art Regenvorrichtung durchgehen zu lassen, um den Mantel abzukühlen; eine solche Einrichtung ist auch an der dargestellten Bleipresse zu sehen. Dieses Verfahren ist namentlich für die schweren hochadrigen Fernsprechkabel auch insofern von Vorteil, als der abgekühlte Bleimantel dann weniger leicht seine kreisrunde Form verliert. Bei einer Spezialkonstruktion der Huberpresse ist auf der Matrizenseite eine besondere Kühlvorrichtung fest in die Maschine eingebaut.

Beim Nachfüllen der Zylinder muß die Presse stehen bleiben. Dadurch bildet sich im Bleimantel an der Raststelle des Kabels, wo gerade mit der Pressung aufgehört wurde, ein Ring, der sogenannte Bambusring. Dieser stellt eine wulstartige Erhöhung neben einer geringen ringförmigen Einschnürung dar. Ein solcher Bambusring läßt sich bei größerer Länge starker Kabel nicht vermeiden, er ist jedoch nicht etwa eine unzulässige Schweißstelle. Das Bleirohr ist durchaus einheitlich und hat auch an dieser Stelle die gleiche Festigkeit wie auf der übrigen Länge. Die neue Bleifüllung schmilzt mit dem in den Rezipienten noch vorhandenen alten Material vollständig zusammen und kommt im Bleimantel ohne äußeres Merkmal erst etwa 25 cm hinter dem Bambusring zur Geltung.

Das vorstehend erläuterte Verfahren ist das der Heißpresse. Die ursprüngliche Maschine von Siemens ist dagegen die Kaltpresse, welche jetzt nur noch vereinzelt — z. B. für Bleimäntel von Guttaperchakabeln — Verwendung findet. Diese Maschine unterscheidet sich von der Heißpresse in der Hauptsache dadurch, daß mit ihr nur eine bestimmte Länge hergestellt werden kann, sie arbeitet also nicht kontinuierlich. Das Kabel durchläuft einen zylindrischen, mit seiner Längsbohrung auf dem hohlen Dorn sitzenden Klotz Blei, den Bleiputzen, der durch hydraulischen Druck in der Längsrichtung des Kabels — im Gegensatz zu dem senkrecht wirkenden

Druck der Heißpresse — zwischen Dorn und Matrize auf das durchlaufende Kabel gepreßt, gewissermaßen aufgeschoben wird. Der Arbeitsvorgang ist in **Abb. 10** skizziert. Während bei der Heißpresse das Blei von zwei Seiten auf das Kabel gepreßt wird, erfolgt die Aufbringung des Bleis in dieser Presse nur in einer Richtung. Die Presse ist stehend angeordnet, der Kolben wird von unten nach oben geführt, das Kabel läuft oben aus der Maschine heraus. Die Kaltpresse arbeitet demnach vertikal, dagegen die Heißpresse horizontal.

Abb. 10.



Der Bleimantel gewährt infolge der sehr geringen Festigkeit des Materials für die nicht in Einzelrohrkanäle eingezogenen Kabel keinen Schutz gegen mechanische Beschädigungen. Auch gegen die chemischen Einwirkungen aus den Bestandteilen des Erdbodens ist das Blei nicht ausreichend widerstandsfähig. Das bleiumhüllte Kabel bedarf daher — ebenso wie das Kabel ohne Bleimantel — nicht nur zur Sicherung der Kabeladern, sondern auch des Bleimantels selbst, in vielen Fällen eines besonderen äußeren Schutzes, der sogenannten Bewehrung. An eine solche Vorrichtung können verschiedene Forderungen gestellt werden:

1. Die Bewehrung soll das darunter liegende Kabel gegen mechanische Beschädigungen und chemische Angriffe schützen.

2. Bei stärkeren Zugbeanspruchungen beim Verlegen der Kabel soll die Bewehrung die Zugkräfte aufnehmen und vom Kabelkern möglichst fernhalten.

3. Das Kabel oder der unter der Bewehrung liegende Bleimantel dürfen durch die Schutzdrähte weder mechanisch noch elektrolytisch gefährdet sein.

4. Die Bewehrung soll dauerhaft und selbst möglichst unempfindlich gegen die Einwirkungen aus dem Erdboden usw. sein.

Die erste Bedingung muß in jedem Fall erfüllt sein, die Ausführung richtet sich nach der Stärke der Kabel, der Verlegungsart und den örtlichen Verhältnissen.

Die zweite Forderung kommt namentlich für Fluß- und Seekabel in Betracht, wo unter Umständen bedeutende Längen ohne Unterlage an der Zugvorrichtung oder auch später nach der Verlegung frei hängen. Für Erdkabel fällt diese Bedingung praktisch weg. Für Röhrenkabel ist sie im allgemeinen nicht so wesentlich, da hier die Festigkeit der Kupferdrähte und des Bleimantels zusammen meistens ausreichen würden, wenngleich die Zugbeanspruchung von der Bewehrung tatsächlich zum größten Teil aufgenommen wird. Es kann jedoch in Ausnahmefällen auch bei Röhrenkabeln — z. B. beim Herausziehen aus Vollrohren — die Zugfestigkeit der Bewehrung ganz erheblich in Anspruch genommen werden. Die Bewehrung soll bei Röhrenkabeln in der Hauptsache Schutz gegen Beschädigungen durch andere Kabel bieten, die später in dasselbe Kanalrohr eingezogen werden.

Die dritte Forderung wird in der Regel dadurch erfüllt, daß ein Polster aus imprägnierten Jutefäden, Bandbewickelungen usw. zwischen Bleimantel und Bewehrung gebracht wird, so daß die Schutzdrähte beim Bewegen der Kabel oder bei ihrem etwaigen Verdrehen oder Loslösen nicht in den Bleimantel einschneiden können. Derartige Zwischenlagen verhindern gleichzeitig eine direkte Berührung der Eisendrähte und des Bleimantels und schützen auch die Bleihülle oder das Kabel noch gegen zersetzende Einwirkungen des Erdbodens.

Als Material für die Bewehrung kommt nur Eisen oder Stahl in Betracht. Das Flußeisen, welches zu der Armierung verwendet wird, hat eine absolute Festigkeit von 50 bis 60 kg für 1 qmm. Die namentlich für Flußkabel erforderlichen Flußstahldrähte besitzen eine erheblich höhere Festigkeit bis zu 120 kg.

Die verschiedene Armatur der Flußkabel hat eine große Anzahl solcher Kabeltypen entstehen lassen, weil die Stärke der Bewehrung mannigfachen Unterschieden unterliegen kann. Die Armaturstärke ist von Fall zu Fall nach Maßgabe der mechanischen Angriffe zu bestimmen, denen das Kabel unter den besonderen örtlichen Verhältnissen infolge von Flußströmungen, steinigem Boden, Schiffsverkehr usw. möglicherweise ausgesetzt ist. Bei allen Flußkabeln muß daher die Örtlichkeit ausschlaggebend in Berücksichtigung gezogen werden. Während in manchen Fällen — z. B. in ganz ruhigen Gewässern ohne Schiffsverkehr — schon die gewöhnliche Erdkabelbewehrung auch für Flußkabel ausreichend ist, wird man jedoch in der Regel eine mehr oder weniger erhebliche Verstärkung, g. F. in zwei Lagen, unter Umständen auch eine andere Form der Armatur, in Erwägung ziehen müssen (zu vgl. die Abb. 17 und 32).

Die Ausführungsformen der Bewehrung lassen sich in zwei Gruppen teilen: die Bandarmierung und die Drahtarmierung.

Die Bandarmierung ist nur für solche Kabel zu verwenden, welche auf Zugfestigkeit nicht beansprucht werden, also ausschließlich für Erdkabel. Diese Bewehrung besteht aus zwei in gleicher Richtung um das Kabel gewickelten Eisenbändern von etwa 1 mm Stärke und 20 bis 50 mm Breite. Zwischen den einzelnen Umgängen der Bänder werden Lücken von einigen Millimetern Breite derart gelassen, daß die Lücken des unteren Bandes durch das obere vollständig verdeckt werden, und daß die Lücken des zweiten Bandes auf der Mittellinie des unteren Bandes liegen. Das obere Band ist einige Millimeter breiter als das untere. Zur Vermeidung von Hohlräumen unterhalb der Armatur und zwischen den beiden Bandlagen erhält das Kabel vor Aufbringung der Bewehrung eine dicke Compoundschicht, welche sich durch den beim Aufwickeln der Bänder verursachten Druck in die Fugen und Lücken verteilt. Die Bänder für eine Kabellänge sollen nur aus einem einzigen Stück bestehen. Sind ausnahmsweise zwei Bänder zu verbinden, so wird diese Verbindungsstelle meistens durch Kupferniete[1]) hergestellt. Über die Bewehrung kommt schließlich noch eine Umspinnung mit in Compound getränkten Jutefäden, um die Eisenbänder fester in ihrer Lage zu halten und sie außerdem gegen Rost zu schützen.

---

[1]) Baur, S. 181.

Die Bandarmierung wird namentlich für Starkstromkabel angewendet. Sie gibt einem Kabel im allgemeinen hinreichenden Schutz gegen mechanische Verletzungen, ist jedoch für Telegraphen- und Fernsprechkabel weniger gebräuchlich. Bei der R. T. V. ist eine solche Bewehrung zurzeit nur noch für Telegraphenfaserstoffkabel zugelassen (zu vgl. Abb. 19).

Die soeben erwähnte Compoundmasse ist eine Imprägniermasse, die jedoch einem anderen Zweck als die sonstigen derartigen Massen dient. Die Compoundimprägnierung soll in der Hauptsache einen äußeren Schutz der Isolierhülle oder Bewehrung herstellen, die Verhinderung des Eindringens von Feuchtigkeit ist erst eine weitere Folge. Sie bildet über dem sonstigen Kabelschutz einen wasserdichten Überzug, der ihn vor Verrosten und Faulnis behüten soll. Dieserhalb wird eine solche Masse in zäher, nicht in leichtflüssiger Form auf das Kabel gebracht. Dieses wird durch einen mit der erwärmten Masse angefüllten Trog hindurchgezogen, wobei das Compound am Kabel haften bleibt. Die Compoundmassen bestehen meistens aus Mischungen von Steinkohlenteer, Pech und Asphalt.

Die Drahtarmierung der Kabel ist im allgemeinen geschlossen, seltener wird die offene Armierung verwendet — z. B. in Vollrohrkanälen oder zu geschützten Kabelhochführungen.

Die offene Bewehrung besteht darin, daß die Einzeldrähte sich nicht berühren, sondern in gegenseitigem Abstande von einigen Millimetern spiralig um das Kabel gewickelt sind. Ihr Hauptzweck ist die Erhöhung der Zugfestigkeit der Kabel, der mechanische Schutz ist nicht erheblich. Es wird daher in der Regel auch für die angegebenen Verwendungsarten besser sein, die höheren Kosten für die volle Bewehrung aufzuwenden und die offene Ausführung möglichst zu beschränken.

Einen wirksamen Schutz stellt nur die geschlossene Bewehrung dar, deren wesentliches Moment darin liegt, daß die einzelnen Schutzdrähte auf der ganzen Oberfläche des Kabels ohne Zwischenraum eng aneinander liegen, so daß bei einem mechanischen Angriff die Eisenarmierung auf jeden Fall getroffen werden muß. Je geringer die Stärke der Bewehrung, je enger die Einzeldrähte sich berühren, desto günstiger wird — ausreichende Festigkeit und Schutzwirkung in beiden Fällen vorausgesetzt — eine Kabelschutzbewehrung im allgemeinen vom wirtschaftlichen und technischen Standpunkte sein. Als Konstruktionsbedingung für drahtbewehrte Kabel ist noch zu beachten, daß die einzelnen Drähte sich möglichst fest gegen die Kabeloberfläche anpressen müssen, damit die Bewehrung sich nicht lockern kann. Ebenso gilt, wie für die Bandarmatur, die Forderung, daß die Einzeldrähte möglichst nur aus einem einzigen Stücke bestehen sollen. Etwa erforderliche Verbindungen erfolgen in der Regel durch Zusammenlöten mittels Kupfer oder Messing, doch darf die Form dadurch nicht verändert werden.

Die zur Kabelbewehrung verwendeten Eisendrähte werden verzinkt, um das Rosten zu verhüten. Hiermit wird derselbe Zweck verfolgt, wie beim Eisendraht [1]) für oberirdische Leitungen. Der Zinküberzug schützt dadurch, daß Zink nur eine Oxydationsstufe hat und daher die Oxydation von der Oberfläche aus nicht weiter in das Material eindringen kann, das darunter

[1]) Näheres darüber zu ersehen bei Winnig, „Bautechnik für oberirdische Telegraphenlinie“, Braunschweig 1910, S. 129.

liegende Eisen vor der Zerstörung. Selbst in dem Fall, daß z. B. Risse in dem Überzuge entstehen, sichert das Zink infolge seines elektrolytischen Verhaltens zum Eisen dieses vor dem Verrosten. Der Zinküberzug soll vollständig decken und gut haften, er darf also vor allem nicht abblättern.

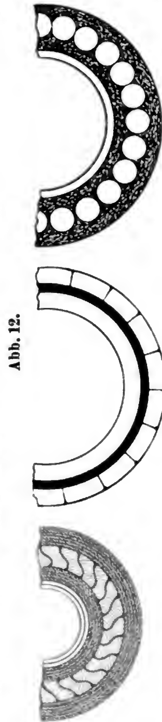


Abb. 11.

Die *Aufbringung der Schutzdrähte* auf das Kabel erfolgt in den Verseilmaschinen nach dem bereits in Abb. 5 schematisch dargestellten Prinzip. **Abb. 11** zeigt eine Verseilmaschine mit einem in Arbeit befindlichen Kabel. Die Einzeldrähte müssen nicht nur auf der ganzen Länge des Kabels, in möglichst kurzem Drall, eng aneinander liegen, sondern auch überall gleiche Spannung haben, damit sie sich beim Auftrommeln und Verlegen der Kabel

nicht aufdrehen. Hierdurch würden nicht nur die Arbeiten sehr erschwert, sondern auch die Kabel ernstlich gefährdet werden.

Man unterscheidet nach der Form der Drähte zwischen Runddrähten, Flachdrähten und Façondrähten; letztere werden auch wohl als Form- oder Profildrähte bezeichnet. Neben der Form ist die wichtigste wirtschaftliche und technische Frage die Stärke der einzelnen Drähte. In **Abb. 12** sind Querschnitte dieser drei Bewehrungen zu sehen.


Abb. 12.

Die älteste Art ist die Runddrahtarmierung[1]). Diese erfüllt die Forderung, daß der Panzer das Kabel möglichst vollständig abschließen soll, am wenigsten, sie ist jedoch im allgemeinen für Erdkabel ausreichend und wird bei sehr starker Armierung sogar vielfach vorgezogen.

Die Zahl der Drähte ist bestimmt durch die gegebenen Durchmesser des Kabels und des Einzeldrahtes der Bewehrung. Man berechnet den Umfang des durch die Mittelpunkte der Armierungsdrähte gelegten Kreises, dividiert diesen durch den Drahtdurchmesser und zieht [nach Baur[2])] von der so gefundenen Zahl für Zwischenräume und Eindrehung etwa 10 v. H. ab; die Differenz ist dann die Zahl der praktisch erforderlichen Bewehrungsdrähte. Die Anzahl der Drähte findet aber ihre Begrenzung in der Möglichkeit, sie um das Kabel zu verseilen. Die Armaturmaschinen können nicht eine beliebig hohe Zahl von Spulen mit Eisendrähten aufnehmen, da das Spulenrad sonst zu groß und schwer werden und der ganze Betrieb nicht nur außerordentlich viel Kraft zur Umdrehung der großen Eisenmassen erfordern würde, sondern auch praktisch gar nicht mehr möglich wäre. Soweit bekannt, sind die größten Armiermaschinen für 54 Spulen[3]) konstruiert. Es würde also bei den starken Kabeln nichts anderes übrig bleiben — da die Zahl der Drähte nicht weiter gesteigert werden kann —, als den Durchmesser der Einzeldrähte zu verstärken. Dieses ist aber wieder technisch vollständig unnötig, wirtschaftlich außerordentlich ungünstig und für die Verlegungsarbeiten sehr erschwerend. Das Kabel wird für die gewöhnlichen Zwecke zu schwer, unhandlich

[1]) Näheres über Runddrahtbewehrung bei Coyle and Howe, S. 214 ff., S. 228 ff., Tabellen über Zahl, Durchmesser und Gewicht der Einzeldrähte, bezogen auf die verschiedenen Kabeldurchmesser. — [2]) Baur, S. 183; zu vgl. auch die Ausführungen bei Wietz, S. 64; ferner Coyle and Howe, S. 223. — [3]) Eine solche Maschine ist bei den Siemens-Schuckert-Kabelwerken vorhanden; rechnet man für jede Spule etwa 400 kg Eisendraht, so sind allein über 20000 kg Draht — noch ganz abgesehen vom Spulengestell selbst — herumzudrehen. Die meisten Maschinen haben erheblich weniger Spulen.

und teuer und weit über alle praktischen Erfordernisse mit Schutzmaterial bedeckt. Zum Beispiel würde für ein hochpaariges Fernsprechkabel mit 90 mm Durchmesser über dem Bleimantel bei einer Höchstzahl von 54 Drähten der Durchmesser der einzelnen Bewehrungsdrähte rund 5,6 mm betragen müssen. Dieses würde noch bei 10facher Sicherheit einer zulässigen Zugbeanspruchung[1]) von etwa 7000 kg entsprechen — und solche Werte kommen im allgemeinen auch nicht annähernd in Betracht. Für besonders stark beanspruchte Flußkabel sind allerdings derartige und unter Umständen noch größere Drahtstärken, bis über 8 mm Durchmesser, nicht zu vermeiden.

Es stehen also die Zahl der Drähte und ihr Durchmesser in einer gewissen Abhängigkeit voneinander. Die Anzahl ist durch die Fabrikation beschränkt, andererseits muß infolgedessen der Durchmesser oft eine unnötige Stärke erhalten, damit die grundsätzliche Forderung erfüllt wird, daß die Armierung vollständig geschlossen ist.

Mit dem wachsenden Kabeldurchmesser ergibt sich nach den vorstehenden Ausführungen die Notwendigkeit, eine andere Bewehrungsart zu wählen, welche bei den vorhandenen Kabelmaschinen einen wirtschaftlich und technisch zulässigen Umfang nicht überschreitet. Die neue Konstruktion ist die Flachdrahtarmatur, bei welcher die einzelnen Drähte je für sich annähernd einen trapezförmigen Querschnitt haben, dessen längere Grundlinie nach außen zu liegen kommt. Die Dimensionen der Drähte betragen bei den Kabeln der R. T. V. im Durchschnitt etwa 1,4 bis 1,7 mm Dicke bei 4:3 bis 6:5 mm Breite. Es werden also im Verhältnis zu gleich starken Rundeisendrähten erheblich weniger Drähte für ein Kabel erforderlich. Die Verwendung von Flachdrähten ist übrigens nicht erst durch die neuen starken Kabel, sondern wegen ihrer großen Vorzüge bereits früher auch für schwächere Kabel eingeführt worden.

Die Vorteile der Flachdrahtarmierung kann man folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Fabrikation ist erleichtert und kann den späteren Zugbeanspruchungen der Kabel besser angepaßt werden.
2. Es wird weniger Material gebraucht.
3. Das Kabel wird dünner, leichter und handlicher.
4. Die Fabrikations-, Transport- usw. Kosten werden geringer.
5. Die Bewehrungsdrähte umschließen das Kabel mit glatter Oberfläche bis auf ganz geringe Fugen vollständig, die Berührungsflächen zwischen den Einzeldrähten sind bedeutend vergrößert. Der Schutz des Kabels ist verstärkt, da die Drähte die Kabelseele gewissermaßen wie ein geschlossener eiserner Ring umgeben.

Im ganzen ist durch die Flachdrahtbewehrung ein wesentlicher Fortschritt erreicht. Die Berechnung der Drahtzahl erfolgt wie für die Runddrähte. Für sehr hohe Zugbeanspruchungen sieht man allerdings von dieser Armierung ab, da die Fabrikation der Kabel mit besonders starken Flachdrähten recht erschwert ist.

Die dritte Art der Drahtarmatur ist die Façondrahtbewehrung mit Drähten von im allgemeinen S-förmigem Querschnitt und etwa 3 bis 7 mm

---

[1]) $P = k \cdot F$; $F = 54 \cdot 2{,}8^2 \cdot \pi = 1325$; $k = 50$ bis 60 (s. S. 38); $P = 66000$ bis 79000.

Stärke (zu vgl. Abb. 12). Sie ist aus der Flachdrahtarmatur hervorgegangen, es sind nur durch eine andere Form die Berührungsfläche zwischen den nebeneinander liegenden Drähten noch vergrößert und jeglicher radiale Spalt von der Kabelseele zur Oberfläche der Bewehrung vermieden. Diese, allerdings mit höheren Kosten verbundene Bewehrung stellt zweifellos den besten Schutz für Kabel dar. Ihre besondere Eigentümlichkeit besteht darin, daß kein Draht daraus einzeln entfernt werden kann. Durch solche Profildrähte ist das Kabel wie durch ein vollständig geschlossenes Rohr geschützt, ohne daß die Biegsamkeit wesentlich verringert wird. Die Façondrahtarmatur wird jedoch wegen ihrer Kosten nur für Flußkabel an schwierigen Übergängen verwendet. Durch das zahnartige Ineinandergreifen der Drähte wird erreicht, daß spitze Gegenstände, wie Anker, Bootshaken usw., nicht in das Innere der Kabel eindringen können.

Die Erdkabel und auch wohl die Flußkabel erhalten zum Schutz gegen Rosten in der Regel über den Bewehrungsdrähten noch eine Jutecompoundschicht und werden nach der Fabrikation außerdem noch mit Kalkmilch bestrichen, damit die einzelnen Windungen auf den Kabeltrommeln nicht aneinander kleben. Die Jutecompounddecke muß fest an den Bewehrungsdrähten haften und soll sie auch bei mäßigen Biegungen des Kabels noch vollständig bedecken. Sie darf ferner bei Kälte nicht spröde werden, auch nicht abblättern, andererseits bei wärmerer Temperatur nicht derart erweichen, daß sie ihre Lage verändert oder gar abfließt.

Wie zwischen die Bandarmierung und den Bleimantel zunächst eine dicke Compoundschicht gebracht wird, so erhalten auch die drahtbewehrten Kabel in der Regel eine Zwischenlage, damit die Bewehrungsdrähte bei der Fabrikation und der späteren Verlegung der Kabel den Bleimantel nicht gefährden können. Ein solches Polster besteht aus geteerten Jutelagen oder ähnlichem Material. Voraussetzung ist dabei, daß die Imprägniermassen weder den Bleimantel noch die Bewehrungsdrähte zerstörend angreifen.

Neuerdings wird dieses Polster bei den papierisolierten Telegraphenkabeln mit Antiinduktionshüllen der Adern meistens fortgelassen, um diesen Schutzhüllen eine bessere Erde zu geben. Zur Vermeidung elektrolytischer Vorgänge zwischen den Bewehrungsdrähten und dem Bleimantel werden erstere alsdann verbleit. Da das Eisen sich nicht gut verbleien läßt, so erhält es zunächst noch wieder den üblichen Zinkschutz. Die an sich wohl mögliche Einleitung von elektrolytischen Prozessen zwischen Zink und Blei wird vermieden, da zwischen den beiden Metallen kein Zwischenraum vorhanden ist, in den Feuchtigkeit eindringen kann.

Bei der Fabrikation der Kabel wird zur Ersparung von Zeit und Kosten dahin gestrebt, die Aufbringung der gesamten Schutzbedeckung (Jutepolster, Compoundschichten, Bewehrung, Kalkanstrich) möglichst in einem einzigen Arbeitsgange auszuführen. Die einzelnen Maschinen und Massenbehälter werden in entsprechender Reihenfolge zu einem Ganzen zusammengesetzt und die Kabel durch diese Gesamtanordnung hindurchgeführt, wobei die einzelnen Bedeckungsschichten und Tränkungen der Reihe nach bis zur vollständigen Fertigstellung des Kabels aufgebracht werden.

In **Abb. 13** auf der am Schlusse des Buches befindlichen Tafel ist ein solcher Arbeitsvorgang für ein drahtarmiertes Kabel skizziert. Es folgen in dem gewählten Beispiel von links nach rechts aufeinander: ein Tränkapparat, ein Bandwickeler, ein Tränkapparat, ein Jutespinner, ein Tränkapparat (für die rohe Jute), die Verseilmaschine, ein Tränkapparat, ein Jutespinner und sein Tränkapparat, noch ein Tränkapparat und schließlich ein Kalkspritzer. Aus der Abbildung ist rechts auch schematisch zu ersehen, wie die Kabeltrommel zum Aufwickeln des fertigen Kabels durch bewegte Rollen in Drehung gehalten wird; die Geschwindigkeit der zugehörigen Motoren muß in weiten Grenzen veränderlich sein.

Lieferung der Kabel.

Die Kabel müssen zu ihrer Lagerung, Versendung und Verlegung auf Haspel aufgewickelt werden. Hierzu dienen hölzerne Kabeltrommeln. Kabel mit hygroskopischem Isoliermaterial und Bleimantel bedürfen ferner an ihren Enden noch eines besonderen Schutzes gegen das Eindringen von Feuchtigkeit; sie werden zu diesem Zweck mit gut aufgelöteten Bleikappen versehen. Unter Umständen werden solche Kabel vorher auch noch an den Enden mit Imprägniermasse ausgegossen.

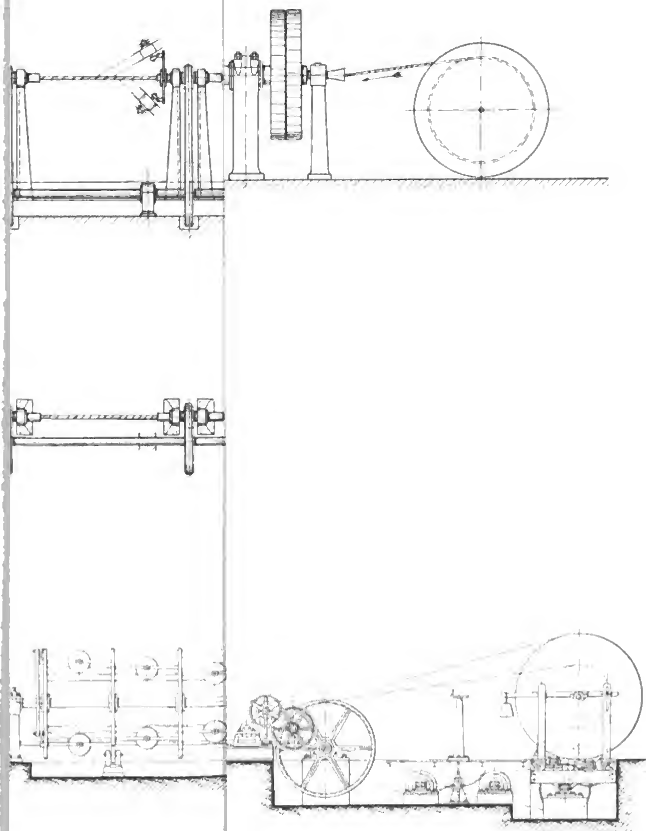
Die hölzernen Kabeltrommeln haben einen hohlen zylindrischen Kern als eigentliche Aufwickelvorrichtung und zwei kreisrunde Seitenflanschen, die in der Mitte je eine Öffnung haben, durch welche ein fester Stab als Achse gesteckt werden kann, wenn eine Trommel gehoben, gedreht oder fortgerollt werden soll. Die Größe und Stärke von Kern und Flanschen richten sich nach Durchmesser, Gewicht und Länge der Kabel. Der Kerndurchmesser soll [nach Baur[1])] etwa 20 mal so groß wie der Kabeldurchmesser sein. Jedenfalls ist ein stärkerer Kern für schwere Kabel immer besser als ein geringerer, da die Kabel sonst beim Auftrommeln geknickt oder anderweitig in ihrer Form verändert werden können. Die Größe der Trommeln muß so gewählt sein, daß sie die geforderten Fabrikationslängen reichlich aufzunehmen vermögen. Das Kabel darf nicht bis zum äußeren Rande der Seitenflanschen aufgewickelt werden, da es sonst beim Fortrollen der Trommeln Beschädigungen ausgesetzt ist. Für den Transport werden die Flanschen meistens noch durch Holzbretter verbunden, um die Kabel durch diese Verschalung gegen äußere Angriffe zu sichern. Außerdem kommen auch wohl noch Bandwickel und Strohseile zur Verwendung. Auf der Außenseite eines Flansches werden Länge, Adernzahl und Adernstärke des Kabels in einfacher Signierung angegeben. Für die Kabel der R. T. V. ist außerdem noch die Bezeichnung der Aufwickelungsrichtung durch einen Pfeil vorgeschrieben, da zur Vermeidung von Verwirrungen der einzelnen Ringe beim Fortrollen der Trommeln die gleiche Richtung genommen werden muß.

Kurze Kabellängen und isolierte Drähte werden vielfach nicht aufgehaspelt, sondern in losen Ringen geliefert; dieses Verfahren ist namentlich dann erforderlich, wenn die Drähte nach Gewicht bezogen werden.

Die Kabelwerke müssen eine gewisse Garantie für die Kabel übernehmen, insofern als die im Vertrage verlangten elektrischen Eigenschaften

[1]) Baur, S. 185.

Zu S. 23 u. 44.



Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig

nicht nur bei der Anlieferung und Verlegung, sondern noch nach einer bestimmten Reihe von Jahren gleichmäßig erhalten bleiben sollen; auch dürfen die mechanischen Beanspruchungen, denen die Kabel beim Verlegen notwendigerweise ausgesetzt sind, keinerlei Nachteil ausüben. Nach den Vertragsbedingungen[1]) der R. T. V. müssen die Lieferer in der Regel eine dreijährige Garantie für die Erhaltung der elektrischen Eigenschaften übernehmen. Zeigen die Kabel innerhalb dieser Zeit — von der Abnahmeprüfung aus gerechnet — ungünstigere als die vertragsmäßig zugelassenen Werte, so hat der Fabrikant[2]) sie entweder auf seine Kosten in den vertragsmäßigen Zustand wieder zu versetzen oder zurückzunehmen. Ebenso hat das Kabelwerk innerhalb der vorgeschriebenen Gewährfrist diejenigen Fehler zu vertreten, die auf eine ungenügende Fabrikation zurückzuführen sind. Wie weit eine andere als dreijährige Garantie für die Kabel der R. T. V. gefordert oder eine Garantie überhaupt nicht in Anspruch genommen wird, soll bei Besprechung der betreffenden Kabel erörtert werden.

Als Beginn der dreijährigen Garantiefrist wird bei der R. T. V. der Zeitpunkt der Abnahmemessung des Kabels in der Fabrik angenommen. Die Gewährfrist selbst wird neuerdings ganz allgemein bis zum 31. Oktober des auf die Lieferung folgenden Rechnungsjahres ausgedehnt, um in dem Zeitpunkt der vor Ablauf dieser Frist vorzunehmenden Bürgschaftsmessungen einen gewissen Spielraum zu haben. Ferner ist, um den Kabelwerken bei Ersatzforderungen von vornherein den Einwurf unmöglich zu machen, daß der Fehler nicht in der Garantiezeit entstanden sei, angeordnet worden, daß die Bürgschaftsmessungen möglichst schon 3 bis 4, höchstens aber 5 Monate vor dem betreffenden Termin ausgeführt werden sollen.

Zum Schluß sei bemerkt, daß eine gewisse Gewähr für ordnungsmäßige Lieferung der Kabel der R. T. V. noch darin liegt, daß nach den Lieferungsverträgen den Abnahmebeamten der Verwaltung gestattet ist, die Fabrikation der Kabel in jedem Stadium zu beaufsichtigen.

Temperaturkoeffizienten des Leitungs- und Isolationswiderstandes.

Grad C	Kupferkoeffizient c	Isolationskoeffizienten c für			
		Guttapercha	Gummi	trockenes Papier	Faserstoff
— 10	1,109	0,037	0,219	0,48	0,123
— 9,5	1,107	0,040	0,224	0,48	0,123
— 9	1,104	0,043	0,229	0,485	0,124
— 8,5	1,102	0,046	0,234	0,485	0,124
— 8	1,100	0,048	0,240	0,49	0,125
— 7,5	1,098	0,052	0,247	0,49	0,125
— 7	1,096	0,056	0,254	0,495	0,126
— 6,5	1,093	0,059	0,261	0,495	0,126
— 6	1,091	0,063	0,268	0,50	0,127
— 5,5	1,089	0,067	0,275	0,50	0,128

[1]) Für die Auslegung von Vertragsbestimmungen ist unter Umständen § 157 des B. G. B. zu berücksichtigen. — [2]) Zu vgl. die Ausführungen auf S. 26.

Grad C	Kupferkoeffizient *c*	Isolationskoeffizienten *c* für			
		Guttapercha	Gummi	trockenes Papier	Faserstoff
— 5	1,087	0,071	0,282	0,505	0,129
— 4,5	1,085	0,076	0,290	0,505	0,130
— 4	1,082	0,081	0,298	0,51	0,131
— 3,5	1,080	0,086	0,311	0,51	0,131
— 3	1,078	0,092	0,320	0,52	0,132
— 2,5	1,075	0,098	0,327	0,52	0,133
— 2	1,073	0,105	0,335	0,53	0,134
— 1,5	1,071	0,112	0,346	0,53	0,135
— 1	1,068	0,120	0,359	0,54	0,136
— 0,5	1,066	0,129	0,374	0,54	0,137
0	1,064	0,137	0,380	0,55	0,139
0,5	1,061	0,147	0,393	0,55	0,140
1	1,059	0,157	0,406	0,56	0,142
1,5	1,057	0,169	0,419	0,57	0,144
2	1,055	0,179	0,434	0,58	0,146
2,5	1,052	0,191	0,448	0,59	0,149
3	1,050	0,204	0,461	0,60	0,152
3,5	1,048	0,218	0,478	0,61	0,156
4	1,046	0,233	0,493	0,62	0,160
4,5	1,044	0,249	0,509	0,63	0,165
5	1,042	0,266	0,526	0,64	0,171
5,5	1,040	0,284	0,542	0,65	0,179
6	1,037	0,304	0,561	0,66	0,187
6,5	1,035	0,324	0,578	0,68	0,197
7	1,033	0,347	0,598	0,69	0,210
7,5	1,031	0,371	0,618	0,71	0,224
8	1,029	0,396	0,637	0,72	0,241
8,5	1,027	0,423	0,658	0,73	0,261
9	1,025	0,452	0,679	0,75	0,283
9,5	1,022	0,482	0,701	0,77	0,309
10	1,020	0,515	0,724	0,78	0,339
10,5	1,018	0,551	0,748	0,80	0,372
11	1,016	0,589	0,773	0,82	0,410
11,5	1,014	0,630	0,798	0,84	0,454
12	1,012	0,672	0,824	0,86	0,505
12,5	1,010	0,718	0,851	0,88	0,563
13	1,008	0,767	0,879	0,90	0,629
13,5	1,006	0,820	0,908	0,92	0,705
14	1,004	0,876	0,938	0,95	0,793
14,5	1,002	0,936	0,968	0,97	0,890
15	1,000	1,00	1,00	1,00	1,00
15,5	0,998	1,07	1,03	1,03	1,12
16	0,996	1,14	1,07	1,06	1,26
16,5	0,994	1,22	1,10	1,09	1,42
17	0,992	1,30	1,15	1,12	1,59
17,5	0,990	1,39	1,19	1,15	1,79

Grad C	Kupfer-koeffizient c	Isolationskoeffizienten c für			
		Guttapercha	Gummi	trockenes Papier	Faserstoff
18	0,988	1,49	1,23	1,18	2,00
18,5	0,986	1,59	1,27	1,22	2,26
19	0,984	1,70	1,32	1,26	2,54
19,5	0,982	1,82	1,36	1,29	2,85
20	0,980	1,94	1,41	1,33	3,20
20,5	0,978	2,07	1,47	1,37	3,59
21	0,977	2,21	1,52	1,41	4,04
21,5	0,975	2,37	1,57	1,45	4,53
22	0,973	2,52	1,63	1,49	5,09
22,5	0,971	2,70	1,70	1,54	5,72
23	0,969	2,88	1,77	1,58	6,43
23,5	0,967	3,08	1,84	1,62	7,22
24	0,965	3,29	1,91	1,67	8,11
24,5	0,963	3,52	1,99	1,71	9,11
25	0,961	3,76	2,07	1,76	10,2
25,5	0,960	4,02	2,17	1,80	11,5
26	0,958	4,29	2,26	1,84	12,9
26,5	0,956	4,58	2,37	1,88	14,5
27	0,954	4,90	2,49	1,91	16,3
27,5	0,952	5,24	2,61	1,95	18,3
28	0,951	5,58	2,73	1,97	20,6
28,5	0,949	5,97	2,84	2,00	23,1
29	0,947	6,38	2,98	2,03	25,9
29,5	0,945	6,81	3,12	2,05	29,1
30	0,943	7,28	3,27	2,08	32,7
30,5	0,942	7,78	3,42	2,10	36,8
31	0,940	8,32	3,58	2,12	41,3
31,5	0,938	8,89	3,75	2,14	46,4
32	0,936	9,49	3,92	2,16	52,1
32,5	0,935	10,15	4,11	2,18	58,6
33	0,933	10,85	4,33	2,20	65,8
33,5	0,931	11,55	4,55	2,21	73,9
34	0,929	12,4	4,79	2,23	83,0
34,5	0,928	13,2	5,04	2,25	93,2
35	0,926	14,1	5,31	2,27	104,7

Der Berechnung des Koeffizienten c für den Leitungswiderstand liegt der Temperaturfaktor 0,004 zugrunde (zu vgl. S. 8). Ist W_n der Widerstand bei 15°, W_t der gemessene Widerstand bei der Temperatur t, so ist

$$W_n = c \cdot W_t.$$

Die Faktoren für die Umrechnung der Isolationswiderstände auf die Normaltemperatur von 15° C sind nach Tabellen von Siemens u. Halske, Berlin, vom Jahre 1903 zusammengestellt; für die Umrechnung der gemessenen Werte gilt dieselbe Formel $W_n = c \cdot W_t$. (Die entsprechenden Werte der Firma Felten u. Guilleaume, Mühlheim (Rhein), für Gummi, Papier und Faserstoff, sind bei Dreisbach, Telegraphen-Meßkunde, S. 164 u. 165 zu ersehen.)

Zweiter Abschnitt.

Die wichtigsten Isolierstoffe der Kabel[1]).

Guttapercha[2]).

Getah-percha ist bereits im 17. Jahrhundert in den naturwissenschaftlichen Museen als Rarität bekannt gewesen. Es wurde jedoch als „biegsames Maserholz" angesehen und fand zunächst wenig Beachtung. Erst als der in Singapore stationierte schottische Arzt Dr. Montgomerie im Jahre 1843 von Indien aus der Society of Arts in London Proben vorlegte und auf einige besondere Eigenschaften dieses Materials hinwies, wurde die technische Welt auf die Guttapercha, wie die Masse jetzt allgemein bezeichnet wird, aufmerksam. Es wurden namentlich sehr bald die ausgezeichneten dielektrischen Eigenschaften dieses Stoffes erkannt und ausgenutzt, zumal gerade um jene Zeit die dynamische Elektrizität begann, ihre große Bedeutung zu gewinnen.

Die Guttapercha wurde zuerst vielfach mit dem damals bereits bekannten Kautschuk verwechselt, namentlich weil die natürliche Gewinnung beider Stoffe sehr ähnlich ist. Aber, abgesehen von der chemischen Zusammensetzung, sind auch die mechanischen Eigenschaften beider Stoffe recht verschieden. Guttapercha wird beim Eintauchen in heißes Wasser weich und bildsam, behält beim Abkühlen jede ihr vorher gegebene Gestalt und wird hart, Kautschuk dagegen zeigt dieses Verhalten nur wenig und behält seine ursprüngliche Elastizität fast unvermindert bei. Dieser wesentliche Unterschied wird schon in den lateinischen Namen gummi plasticum für Guttapercha und gummi elasticum für Kautschuk ausgedrückt.

Guttapercha ist, wie der Kautschuk, der geronnene Milchsaft von Bäumen; eine nähere botanische Verwandtschaft zwischen den beiderseitigen Produktionspflanzen besteht jedoch nicht. Der als Guttapercha bezeichnete Milchsaft, latex genannt, stammt von Sträuchern und Bäumen der Sapotaceenfamilie; das reinste Produkt ist der latex der Isonandra gutta. Das ursprüng-

[1]) Es sollen an dieser Stelle nur die Isoliermaterialien Guttapercha, Kautschuk, Papier und Seide näher besprochen werden; über die übrigen noch zu Isolierzwecken verwendeten Materialien (Faserstoffe, Baumwolle, Wolle) werden an geeigneten Stellen bei Besprechung der einzelnen Kabelkonstruktionen zweckentsprechende Hinweise gegeben werden. — [2]) Bei der folgenden Darstellung wurde vielfach auf die verdienstvollen Werke von Dr. Obach, „Die Guttapercha" und Franz Clouth, „Gummi, Guttapercha und Balata" zurückgegangen. Ferner zu vgl. bei Baur, S. 235 ff.

liche Herkunftsgebiet ist die Insel Singapore. Das gesamte Gebiet, welches allein echte Guttapercha liefert, ist geographisch ziemlich eng auf etwa 6° nördlich und südlich des Äquators und in der Längsausdehnung zwischen 99° und 119° östlicher Länge beschränkt. In der Hauptsache kommen also Malakka, Sumatra und Borneo in Betracht. Die Ursache zu dieser eigentümlichen örtlichen Beschränkung wird in früheren geologischen Umwandlungen unseres Erdkörpers gesucht. Die heutigen Handelssorten roher Guttapercha sind vielfach Produkte verschiedenartiger Bäume, da die echten und besten Guttabäume infolge von Raubbau immer seltener werden.

Die rohe Guttapercha wird in der Regel durch einfaches Abzapfen aus den gefällten Bäumen gewonnen, neuerdings kommen aber auch rationellere Methoden — wie beim Kautschuk — in Anwendung. Das so gewonnene Produkt enthält außer dem eigentlichen Milchsaft noch mechanisch eingeschlossenes Wasser und Verunreinigungen, welche von der Gewinnung herrühren. Das natürliche Material besteht im ganzen aus vier Teilen, nämlich aus der eigentlichen Gutta, Harzen, Wasser und Schmutz. Letztere beiden Zusätze fallen beim Reinigungsprozeß zum größten Teil fort, alle Teile sind aber bei der Beurteilung der Marktware zu berücksichtigen.

Die Reinigung der Guttapercha geschieht auf verschiedene Weise, im allgemeinen jedoch nach mechanischen Verfahren durch Waschen und Kneten in besonderen, auch wieder verschiedenartigen Maschinen. Die gereinigte Ware wird schließlich dem Walzwerke übergeben, wo sie als fertiges Produkt zu Platten verschiedener Stärke verarbeitet wird. Der Gehalt an Wasser und Schmutz wird bei dem ganzen Verfahren immer geringer. Das gereinigte Material enthält im Durchschnitt noch etwa 1,3 v. H. Wasser und etwa ebensoviel Unreinigkeiten, doch kann diese Beimengung in besonderen Fällen noch etwas weiter herabgedrückt werden. Der Materialverlust beim Reinigen ist sehr bedeutend und beträgt bis zu 50 v. H. Dagegen wird das Verhältnis von Gutta zu den Harzen bei dem gereinigten Produkt etwas günstiger und kann für beste Sorten etwa mit 4 : 1 angenommen werden.

Neben den mechanischen Verfahren sind auch chemische Prozesse zur Gewinnung der reinen Guttapercha in Anwendung. Sie liefern zwar bei sorgfältigem Arbeiten im allgemeinen gute Resultate, doch ist ein Nachteil mit jeder chemischen Reinigung der Guttapercha verbunden: es wird nämlich die Dauerhaftigkeit des Materials, namentlich wenn es Luft und Licht ausgesetzt ist, beeinträchtigt. Das dauerhafteste Material liefert die mechanische Reinigung.

Der einzige natürliche Ersatz für die immer teurer werdende Guttapercha ist Balata, der Milchsaft des sogenannten Kugelbaumes, ebenfalls einer Sapotaceenart, die namentlich im nördlichen Südamerika vorkommt. Die Gewinnung erfolgt in derselben Weise wie bei Guttapercha, doch ist der Saft dünnflüssiger, da er erheblich weniger reine Gutta, durchschnittlich etwa 50 v. H., enthält; diese ist aber recht fest und zähe. Der wesentliche Unterschied zwischen Guttapercha und Balata liegt in ihrem verschiedenen Verhalten gegen die Luft. Balata bleibt (nach Clouth) unter Einwirkung von Licht und Luft lange Zeit unverändert, auch wird sie durch einige chemische Agentien anders beeinflußt, als Guttapercha. Die Balata kann wegen ihres bedeutend größeren Harzgehaltes nicht als gleichwertiger Ersatz für erst-

klassige Guttapercha anerkannt werden, sie wird aber als Zusatz in der Kabeltechnik mit gutem Erfolge verwendet.

Wie bereits bemerkt, besteht die gereinigte Guttapercha in der Hauptsache aus der reinen Gutta, einem Kohlenwasserstoff $(C_5H_8)_n$, und Harzen, nämlich dem Fluavil und Alban, oxydierten Kohlenwasserstoffen; außerdem ist noch in geringer Menge ein Kohlenwasserstoff veränderlicher Substanz, Guttan genannt, vorhanden. Gutta ist in Alkohol absolut unlöslich; Fluavil, ein amorphes gelbes Harz, ist dagegen schon in kaltem Alkohol löslich, Alban, ein kristallinisches weißes Harz, erst in heißem Alkohol. Ein gutes Mittel zur Prüfung der Guttapercha durch Trennung der reinen Gutta und der Harzbestandteile ist Äther, welcher die Harze schon bei gewöhnlicher Temperatur löst. Die reine Gutta bildet den eigentlich wertvollen Bestandteil der Guttapercha, die Harze sind Nebenbestandteile, die bei größerer Menge einen schädlichen Einfluß ausüben. Zur Beurteilung des Wertes einer Sorte ist also das Verhältnis zwischen reiner Gutta und Harzen wesentlich; je mehr Gutta, desto besser. Aber auch die reine Gutta ist noch, je nach ihrer Herkunft, in ihren technischen Eigenschaften und ihrer Dauerhaftigkeit wieder verschieden. Es bedarf also außer quantitativer auch der qualitativen Prüfung des Materials — und dieses ist ausschließlich Erfahrungssache, so daß die Lieferung des Materials vielfach lediglich auf Vertrauen beruht.

Bis jetzt hat es sich noch nicht ermöglichen lassen, die chemische Zusammensetzung und die physikalischen Eigenschaften einer am besten für Kabelzwecke zu verwendenden Guttaperchaart festzusetzen. Nach den Erfahrungen gewährt die chemische Analyse allein keinen Anhalt zur Beurteilung der Qualität. Auch gibt es wohl kaum eine mechanische Untersuchung, welche, unabhängig von der praktischen Erfahrung, dazu führen könnte, die verschiedenen Guttaperchasorten in bezug auf ihre Verwendbarkeit für Kabel sicher zu beurteilen. Es könnte aber bei größeren Lieferungen wohl in Erwägung gezogen werden, von den Kabelwerken zunächst Proben der für die betreffenden Kabel in Aussicht genommenen Guttapercha einzufordern, damit diese durch geeignete Beamte der abnehmenden Verwaltung oder durch besonders hierfür eingerichtete Prüfungsstellen untersucht würden; diese müßten an der Lieferung und Abnahme der Kabel unbeteiligt sein.

Die Mischung der verschiedenen Guttaperchaarten und die etwaige Beimengung von Füllstoffen, z. B. Asphalt, erfordern sehr große Erfahrung und genaueste Kenntnis der Eigenschaften der einzelnen Materialien, welche nur langjährige Arbeit in diesem Spezialgebiet nach und nach gewinnen läßt. Auch die Preisfrage ist nicht ohne Einfluß auf die Mischung der für einen besonderen Zweck zu verwendenden Ware.

Für die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der gereinigten Guttapercha ist in der Hauptsache das Verhältnis zwischen Gutta und Harzen maßgeblich. Das spezifische Gewicht schwankt etwas unter und über 1; dicht gepreßtes Material ist im allgemeinen schwerer als Wasser.

Bei der Verwendung für Kabel kommen als mechanische Eigenschaften wesentlich in Betracht die Wasserabsorptionsfähigkeit, das Verhalten gegen die verschiedenen Temperaturen und die Zugfestigkeit. Von Wichtigkeit ist ferner noch der Einfluß von Licht und Luft, und das Verhalten gegen chemische Agentien. Von ganz besonderer Bedeutung sind aber naturgemäß

die elektrischen Eigenschaften. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf beste Handelsmarken und können daher im allgemeinen für die Kabeltechnik als gültig angesehen werden.

Die reine Guttapercha ist fast farblos, ins Braune übergehend, bei geringer Dicke rosa durchscheinend, ein frischer Schnitt erscheint gräulich; sie ist an sich geruchlos und entwickelt nur bei Zersetzung einen charakteristischen Geruch. Bei gewöhnlicher Temperatur verbinden sich die einzelnen Stücke nicht, vereinigen sich aber bei mäßiger Erwärmung und leichtem Druck zu einem fast untrennbaren Ganzen. Das Material ist für gewöhnlich knetbar und geschmeidig, zäh, jedoch nur unerheblich plastisch. Die Temperatur, bei der die Masse bildsam wird, hängt ganz von der Zusammensetzung ab, je mehr Harzzusatz, um so niedriger ist diese Temperatur, die Grenzen zwischen Erweichen und Bildsamkeit liegen etwa zwischen 35° und 90° C, die erweichte Masse ist aber nicht klebrig. Bei Erhitzung erheblich über 100° schmilzt und zersetzt sich die Masse und entzündet sich schließlich. Wird die Guttapercha in kochendem Wasser völlig aufgeweicht, so muß die gute Ware zu einem dünnen, halb durchsichtigen Häutchen ausgezogen werden können, das frei von Klümpchen und Blasen ist. Die Schnelligkeit, mit welcher das Material nach Erwärmung wieder hart — aber nicht spröde — wird, ist ebenfalls von der Zusammensetzung abhängig. Gegen Kälte ist die Guttapercha, im Gegensatz zum rohen Kautschuk, innerhalb der praktisch vorkommenden Grenzen sehr wenig empfindlich.

Die Festigkeit und die Ausdehnung der Guttapercha bei Zugbeanspruchung hängen außer von der Ware auch noch von der Temperatur ab. Das Material widersteht in seinen besten Sorten (nach Clouth) bei gewöhnlicher Temperatur einem Zuge von etwa 24 kg auf 1 qmm, unter einer Verlängerung bis zu 60 v. H.; die Elastizität ist etwa wie bei weichem Leder.

Guttapercha nimmt allmählich etwas Wasser auf, und zwar um so mehr, je mehr sie reine Gutta enthält; die Erklärung hierfür liegt in der Unempfänglichkeit der Harze für Wasser. Guttapercha ist zwar an sich undurchdringlich, aber doch etwas porös, das Wasser scheint allerdings nur in die oberen Zellen einzudringen; die Aufnahmefähigkeit ist aber erheblich geringer als bei reinem Kautschuk.

In stärkerem Maße als Gummi ist die Guttapercha empfindlich gegen atmosphärischen Sauerstoff, wenn sie gleichzeitig dem Licht ausgesetzt ist, doch ist die Einwirkung von der qualitativen Zusammensetzung des Materials abhängig und nicht immer gleichmäßig; die Guttapercha oxydiert, wobei die Gutta, der Kohlenwasserstoff, ebenso wie bei der Wasseraufnahme allein in Betracht kommt. Der atmosphärische Sauerstoff ist die Hauptursache der Zerstörung von Guttapercha, indem er die Gutta in ein sprödes Harz umwandelt. Dieser Vorgang wird von hellem Licht, sowie durch Temperaturwechsel noch besonders unterstützt, im Dunkeln sind wesentliche Veränderungen, soweit sonst nicht ungünstige Faktoren hinzutreten, nicht zu bemerken. Die beste Aufbewahrung für Guttapercha ist kaltes Wasser unter äußerem Abschluß, dieserhalb sind auch die Unterseekabel bedeutend widerstandsfähiger als die in die Erde verlegten Kabel (zu vgl. S. 76).

Ozon greift Guttapercha nicht an, während Kautschuk stark dadurch leidet. Gegen ätzende Alkalien und Ammoniak ist die Guttapercha unempfind-

lich, konzentrierte Schwefel- und Salpetersäure greifen sie dagegen stark an, ebenso auch Chlor; in hochgradigem Alkohol wird sie mit steigender Temperatur löslicher. Leuchtgas, gewisse alkalische Substanzen, z. B. Zement, und auch verwesende organische Stoffe wirken, teilweise sogar erheblich, schädigend auf das Material. Mit Schwefel verbindet sich Guttapercha nicht, bei Mischung mit diesem Stoff verliert sie alsbald ihre guten Eigenschaften — ganz im Gegensatz zum Kautschuk (zu vgl. S. 69).

Während die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Guttapercha sich mit wechselndem Harzgehalt stark verändern, werden (nach Obach) die elektrischen Eigenschaften durch Entfernung der Harze nur wenig beeinflußt. Die für die Verwendung des Materials als Kabelisolierung besonders in Frage kommenden elektrischen Eigenschaften hängen in der Hauptsache von der Beschaffenheit der Gutta, weniger von der des Harzes, unwesentlich von dem Verhältnis dieser beiden Bestandteile, ab. Einfluß haben jedoch noch der Wassergehalt und die Unreinigkeiten.

Die ausgezeichnetste Eigenschaft des Stoffes ist die gute Isolierfähigkeit, welche im Jahre 1846 zuerst von Werner Siemens festgestellt wurde; später empfahl auch Faraday dieses Material zu Isolierzwecken. Guttapercha ist ein schlechter Wärmeleiter und ein noch viel schlechterer Leiter für Elektrizität, sie wird aber, stark gerieben, selbst elektrisch und gibt beim Reiben mit Seide elektrische Funken. Der Isolationswiderstand des Materials kann nur schwer in bestimmten Zahlenwerten angegeben werden. Als eigentümliche Erscheinung ist festzustellen, daß er mit den sonstigen guten Eigenschaften des Materials nicht in gleichem Verhältnis zunimmt —, es ist also die höchstisolierende Guttapercha nicht zugleich auch die beste. Der Wasserzusatz ist dabei von ganz besonderer Bedeutung. Andererseits aber läßt sich nicht durch starke Trocknung oder Zusatz von Harzen ein günstigeres Material erreichen, da durch solche Maßnahmen die Beständigkeit ungünstig beeinflußt wird. Guttapercha ist also an sich zwar ein ganz ausgezeichneter Isolator, hat aber in der Praxis in der guten Ware nur einen mittleren, jedoch vollständig ausreichenden Isolationswert; 500 Megohm können für Kabel ohne weiteres gefordert werden, doch werden teilweise mehrere Tausend Megohm erzielt.

Für die Isolation ist noch wesentlich die Temperatur zu berücksichtigen, wie bereits auf S. 12 dargelegt worden ist; es muß also ein Reduktionsfaktor eingeführt werden, um den Isolationswiderstand für die Normaltemperatur zu berechnen. Dieser Temperaturkoeffizient[1]) wird recht verschieden angegeben, er ist vom Material abhängig, auch scheint die Zeit, d. h. das Alter der Kabel, nicht ohne Einfluß zu sein. Von der Normaltemperatur aus gerechnet fällt und steigt der Faktor mit der Temperatur, doch ist eine gesetzmäßige Bewegung nicht vorhanden, er beträgt[2]) bei 0° etwa 0,14 und bei 20° C 1,94.

Eine eigentümliche Erscheinung ist bei den Kabelmessungen noch zu beobachten: die Isolationskurve ergibt für das Jahr, umgerechnet auf die Normaltemperatur mit irgend einem Temperaturfaktor, nie eine gerade Linie. Es spielen für den Isolationswiderstand also auch noch andere Faktoren mit, die unter Umständen den Vorteil einer Reduktion des Isolationswider-

[1]) Zu vgl. E. T. Z. 1896, S. 25, 36, 65, 90; außerdem E. T. Z. 1906, S. 1115. — [2]) Tabelle s. Strecker, Hilfsbuch für die Elektrotechnik, 7. Aufl., S. 5; ferner Dreisbach, S. 164. Außerdem Tabelle auf S. 45 bis 47 dieses Buches.

standes illusorisch machen können. Die Begleitumstände sind so mannigfaltig, daß sie einheitlich kaum betrachtet werden können, anscheinend ist die wechselnde Bodenfeuchtigkeit von besonderem Einfluß. So z. B. zeigt ein Kabel, welches im Winter infolge der niedrigen Temperatur einen hohen Isolationswiderstand haben sollte, wegen der höheren Feuchtigkeit der Umgebung oft nur eine geringere Isolation, und umgekehrt ist ein Kabel im Sommer wegen der größeren Trockenheit vielfach besser isoliert, trotzdem die höhere Temperatur die Isolationsfähigkeit der Guttapercha herabsetzen sollte. Für praktische Zwecke kann man jedoch für alle Jahreszeiten mit hinreichender Genauigkeit mittlere Temperaturkoeffizienten für die Guttapercha wählen.

Die Dielektrizitätskonstante der Guttapercha ist im Verhältnis zu derjenigen anderer Isolationsstoffe recht hoch, sie ist verschieden nach dem Material und schwankt für gereinigte Handelsware (nach Obach) etwa zwischen 4,5 und 2,6. Für einen mittleren Wert von 3,4 beträgt nach der auf S. 14 angegebenen Formel die Kapazität[1]) einer Guttaperchaader $\frac{0{,}082}{lg\frac{D}{d}}$ Mf für 1 km. Ein Einfluß des Wassergehaltes ist zweifellos nachgewiesen, die Kapazität ist geringer bei niedrigerer Feuchtigkeit.

Eine dritte bemerkenswerte Eigenschaft — wenn auch für Telegraphen- und Fernsprechkabel nicht von solch wesentlicher Bedeutung, wie für Starkstromkabel — ist die elektrische Festigkeit. Die für die Kabel übliche Guttaperchaisolierung ist aber von vornherein als genügend gegen ein Durchschlagen durch die höchsten Betriebsspannungen anzusehen, sofern überhaupt noch ein fester Zusammenhang des Materials über der Kupferader, sei es auch nur als feines Häutchen, vorhanden ist. Anderenfalls entstehen leicht sogenannte Kraterbildungen[2]), welche dann die Isolierung aufheben.

Die Versuche, für die immer teurer werdende Guttapercha künstliche Ersatzmittel zu beschaffen, haben anscheinend noch nicht zu auf die Dauer wirklich befriedigenden Ergebnissen geführt. Es sollen hier einige Kunstprodukte[3]) wenigstens ihrer Bezeichnung nach als gutta française, Velvril, Gutta-Gentzsch kurz erwähnt werden, an welche besondere Hoffnungen geknüpft waren. Bisher ist es aber noch nicht gelungen, auf synthetischem Wege ein dem natürlichen Produkt vollständig gleichwertiges Material herzustellen. Die hauptsächliche Ursache zu dem Mißlingen scheint — ebenso wie bei Imitationsversuchen des Gummis — darin zu liegen, daß es nicht möglich ist, die Faser der natürlichen Produkte künstlich nachzubilden.

Kautschuk[4]).

Kautschuk — oder gewöhnlich Gummi genannt — ist, wie Guttapercha, eine vegetabilische Kohlenstoffverbindung, die aus dem Saft gewonnen wird,

[1]) Zu vgl. auch Breisig, §§ 40 und 42. — [2]) Zu vgl. S. 74. — [3]) Zu vgl. das mehrfach erwähnte Werk von Obach, sowie Archiv für Post und Telegraphie, Berlin 1902, S. 716. — [4]) Bei den folgenden Ausführungen ist, soweit das Material an sich in Betracht kommt, in der Hauptsache dem Werke von Clouth, „Gummi, Guttapercha und Balata", gefolgt, wo auch nähere Einzelheiten zu ersehen sind.

welchen eine große Anzahl Bäume und Sträucher der heißen Zone absondern. Aus dem beim Einschneiden der Gummigewächse herausfließenden Milchsaft, dem latex, setzen sich bei entsprechender Behandlung mikroskopisch kleine Kügelchen ab und bilden eine zunächst mehr oder weniger weiß erscheinende Masse, den Kautschuk. Der Gummigehalt des latex ist verschieden, der beste (Para) enthält 32 v. H. reinen Kautschuk, 12 v. H. mineralische und organische, also der Fäulnis unterworfene Substanzen, etwa 55 v. H. Wasser und Spuren von Harz. Die Menge des latex der einzelnen Gummi liefernden Bäume ist sehr wechselnd je nach der Art, dem Alter, der Gegend und auch der Jahreszeit. Die Güte des Gummis selbst ist aber auch noch abhängig von der Art der Gewinnung des Saftes und der weiteren Verarbeitung zur Abscheidung der Kautschukkügelchen. Der latex wird in der Hauptsache durch Anzapfung der Bäume gewonnen; das bei der Guttaperchagewinnung meistens noch übliche Fällen der Bäume wird nur ausnahmsweise angewendet. Das Auffangen der Flüssigkeit muß mit großer Vorsicht geschehen, um Verunreinigungen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Die Gerinnungsmethoden[1]) zur Absonderung des Kautschuks aus dem Milchsaft sind mannigfaltig, sie beeinflussen wesentlich die Qualität des Produktes, so daß das Material aus derselben Gegend trotzdem sehr verschieden in seinem Wert sein kann. Das beste Verfahren, welches sich namentlich für die guten Parasorten, die wegen ihrer Reinheit, Haltbarkeit und Elastizität besonders geschätzt werden, eignet und im Gebiet des Amazonenstromes fast ausschließlich angewendet wird, ist dasjenige durch künstlich erzeugte trockene Wärme, die Räucherungsmethode. Die vorzügliche Qualität des Paragummis ist jedenfalls mit bedingt durch eine besonders geeignete Rauchbehandlung. Es kommt im ganzen darauf an, bei der Entfernung der wässerigen Bestandteile Verluste zu verhüten und die Fäulnis und Gärung erzeugenden Stoffe unschädlich zu machen, da diese den Wert des Materials vermindern.

Die als Handelsware auf den Markt gebrachten Rohgummisorten werden nach ihrer Herkunft in vier Hauptklassen eingeteilt: amerikanischer (aus Süd- oder Mittelamerika), afrikanischer (aus Ost- oder Westafrika), asiatischer und australischer Kautschuk. Die Handelsbezeichnungen sind oft recht wechselnd. Als die besten Produkte sind jedoch zu nennen fine para, entrefine para und auch negro-heads, sämtlich aus dem Gebiet des Amazonenstromes von der hevea brasiliensis und verwandten Gewächsen der Familie der Euphorbiaceen gewonnen.

Die charakteristischen Eigenschaften[2]) des aus dem latex gewonnenen Rohgummis zeigen je nach seinem Ursprunge, der Gewinnung und späteren Behandlung mehr oder weniger wesentliche Abweichungen. Für die guten Sorten können folgende Angaben im Durchschnitt als zutreffend betrachtet werden:

Rohgummi hat einen gewissen eigenartigen Geruch, der bei geräucherter Ware merklich die Art der Behandlung erkennen läßt, und der bei schlechterem Material oft sehr widerwärtig ist. Kautschuk ist an sich geschmacklos. Die

[1]) Ausführliche Darstellungen zu ersehen bei Clouth. — [2]) Zu vgl. die entsprechenden Ausführungen vorher bei Besprechung der Guttapercha, woselbst auch manche Vergleiche gegeben sind.

Farbe des rohen Kautschuks ist hellbraun, bernsteinfarbig bis dunkelbraun und sogar schwärzlich. Schmutzig-milchiger Schnitt ist ein Zeichen von Feuchtigkeit, dagegen hornig-durchsichtige Farbe ein solches für Reinheit und gute Qualität. Das spezifische Gewicht schwankt zwischen 0,92 bis 0,96. Eine besondere Eigenschaft des Kautschuks ist seine Elastizität, die er auch nach Behandlung mit Kälte und Wiedererwärmen nicht verliert; plastisch ist das Material nur in geringem Maße. Unberührte frische Schnittflächen haben ausgesprochen adhärierendes Bestreben, zwei verschiedene solche Stücke vereinigen sich schon bei gewöhnlicher Temperatur durch leichten Druck zu einer homogenen Masse. Dieses Adhäsionsvermögen ist ein wesentliches Moment für die spätere Verarbeitung des Gummis als Isoliermaterial. Kautschuk ist kein Leiter für Wärme und Elektrizität, wird aber bei starkem Reiben selbst elektrisch. Das Rohgummi ist in Wasser unlöslich, schwillt jedoch in demselben an und nimmt erheblich an Gewicht zu, verliert dabei aber wesentlich an Zähigkeit und Elastizität; ähnlich, jedoch stärker, wirkt absoluter Alkohol. Äther, Benzin und Schwefelkohlenstoff lösen den Kautschuk auf, Wasserdampf wirkt erweichend, Chlor wenig, Salzsäure gar nicht, dagegen zersetzen ihn konzentrierte Schwefel- und Salpetersäure. Kautschuk oxydiert zu einer pechartigen Masse, wenn er längere Zeit atmosphärischer Luft und dem Licht, namentlich bei gleichzeitigem Vorhandensein von Wärme und Feuchtigkeit, ausgesetzt ist. Kälte macht das Gummi steif, jedoch nicht brüchig, schon bei + 10° C erscheint es hart; bei 50° wird es ganz unelastisch und klebrig, schmilzt bei etwa 180° und geht bei über 200° in eine ölartige, dunkelbraune Masse über. In der Flamme ist Kautschuk brennbar und rußt sehr stark; Gummikabel sind also in gewisser Beziehung feuergefährlich.

Das aus dem latex gewonnene Rohgummi bedarf zunächst noch einer weiteren Reinigung, um die in ihm enthaltenen Fremdkörper (Sand, Wasser, Pflanzenteile usw.) möglichst zu entfernen. Im ganzen verliert das Material hierbei an Gewicht, der Verlust beträgt selbst bei bester Ware noch 15 bis 20 v. H. Nach dem eigentlichen Reinigungsverfahren folgt eine weitere Verarbeitung in Knet- und Mischmaschinen, bis schließlich das Rohgummi in Form von geschnittenen Platten als Handelsware (auch wohl Patentgummi genannt) fertiggestellt ist. Kautschuk wird jedoch selten ganz rein geliefert, er enthält mehr oder weniger Zusätze, um gewisse Eigenschaften (Härte, Zähigkeit, Farbe usw.) zu erzielen und den Preis zu drücken; die Mischrezepte werden von den einzelnen Firmen geheim gehalten (zu vgl. S. 58 u. 59).

Das wichtigste Moment der Fabrikation ist die Vulkanisation[1]) des Gummis. Diese Behandlung des Rohgummis hat den Zweck, dem Material seine für Kabel ungeeigneten Eigenschaften möglichst zu nehmen und seine guten zu erhöhen.

Dieser Zweck wird erreicht durch Verbindung des Kautschuks mit Schwefel unter Einwirkung von Wärme. Für die Vulkanisation sind eine ganze Reihe von Verfahren ausgebildet. Nach Clouth ist die wichtigste und am meisten angewendete Methode die von Goodyear erfundene. Diese besteht darin, daß eine im kalten Zustande hergestellte mechanische Mischung von Schwefel

[1]) Zu vgl. Clouth, S. 117 ff.; ferner Baur, S. 217 ff.

und Kautschuk in eisernen Kesseln unter Druck von 3 bis 4 Atmosphären einer Wärme von etwa 130 bis 150° C auf 1 bis 3 Stunden ausgesetzt wird. Die Mindesttemperatur ist dadurch gegeben, daß der Schmelzpunkt des Schwefels, 115° C, jedenfalls überschritten werden muß. Der Zusatz von Schwefel, der zwischen 3 und 15 v. H. schwankt, richtet sich nach der Art der Gummimischung, ihrem Harzgehalt und nach der Art des Vulkanisationsprozesses, ebenso wie das ganze Verfahren im einzelnen außerordentlich von dem Material und dem erstrebten Zweck abhängt; an und für sich verbindet sich Kautschuk mit jeder beliebigen Menge Schwefel. Aber nur jahrelange Erfahrung und genaue Kenntnis des Einflusses der einzelnen für die Mischung verwendeten Materialien und der Vulkanisierungsmethoden setzen den Fabrikanten in den Stand, eine Gummimischung bis zu einem gewollten Grade zu vulkanisieren. Je sorgfältiger und dem einzelnen Rohprodukt angepaßter verfahren wird, desto größer werden die Isolierfähigkeit, die Lebensdauer, die mechanische und elektrische Festigkeit. Hoher Schwefelzusatz macht aber das Material härter und spröder, zur Erhaltung der erforderlichen Elastizität darf daher nur bis zu einem bestimmten Grade vulkanisiert werden — und gerade dann besitzt der Kautschuk erst seine höchste Elastizität und Dauerhaftigkeit. Untervulkanisiertes Gummi ist weniger haltbar, übervulkanisiertes Material wird zu hart und unelastisch, beides ist also für isolierte Drähte unbrauchbar.

Vulkanisiertes Gummi ist eine chemische Verbindung, deren Wesen jedoch bis jetzt noch nicht genügend aufgeklärt ist; je nach Qualität und dem Grade der Vulkanisation stellt das Material eine andere chemische Substanz dar, so daß eine einheitliche Formel überhaupt nicht gegeben werden kann. Der Harzgehalt des Kautschuks wird beim Vulkanisieren infolge chemischer Umwandlungen ein wenig erhöht.

Das spezifische Gewicht des vulkanisierten Gummis liegt im allgemeinen über 1, doch ist seine Höhe kein Wertmesser für die Güte des Gummis.

Die Eigenschaften des Gummis sind durch die Vulkanisierung recht gewandelt und im allgemeinen durch die Menge des aufgenommenen Schwefels bestimmt Geruch und Farbe sind verändert; reines vulkanisiertes Gummi, ohne Zusätze, ist hellgrau. Die Porösität ist bedeutend geringer als beim Rohgummi, die Wasseraufnahmefähigkeit ist etwa auf den fünften Teil gesunken. Das Adhäsionsvermögen, welches besonders Rohgummi auszeichnet, ist nach der Vulkanisation überhaupt nicht mehr vorhanden, dagegen besitzt das vulkanisierte Material, wie oben bereits erwähnt, bedeutend höhere Elastizität, Deformationen beeinträchtigen sein Volumen überhaupt nicht; die vorherige Klebrigkeit ist vollständig geschwunden. Die Wärmeleitung ist noch geringer und die gute Isolierfähigkeit ist durch die Vulkanisation wesentlich gehoben. Diese guten Eigenschaften bleiben, im Gegensatz zum Rohgummi, auch bei Kälte erhalten; kaltes Wasser konserviert das Material, überhaupt ist es durch die Vulkanisation den Einflüssen wechselnder Temperaturen in den in Betracht kommenden Grenzen wesentlich mehr entzogen — und das ist ein sehr großer Gewinn dieser Behandlung. Licht und atmosphärische Luft üben aber auch auf den vulkanisierten Kautschuk in feuchtem Zustande, namentlich bei Wärme — also besonders bei Sonnen-

licht — einen zersetzenden Einfluß aus, wärmebringende Lichtquellen sind überhaupt die gefährlichsten Zerstörer. Die Lösungsmittel für Rohgummi greifen das vulkanisierte Material im allgemeinen weniger stark an, namentlich ist dieses recht widerstandsfähig gegen die Einwirkung von Säuren und Alkalien. Der beste Aufbewahrungsort sind lichtlose Räume, möglichst unter Wasser, weil dann gleichzeitig ein schädlicher Einfluß der atmosphärischen Luft verhindert wird.

Eine besondere Abart des vulkanisierten Kautschuks ist das Okonit. Dieses ist eine Bezeichnung für einen Isolierstoff von eigenartiger Zusammensetzung, der nach einem besonderen Verfahren vulkanisiert wird. Das Okonitverfahren besteht darin, daß der zur Isolation bestimmte, mit Schwefel vermischte Gummikuchen auf Stanniol ausgewalzt wird. Der mit dem Stanniolmantel äußerlich umgebene gummiisolierte Draht wird dann in dieser Form in den Vulkanisierungskessel gebracht. Das Stanniol soll verhindern, daß beim Vulkanisieren der heiße Dampf mit dem Gummi in direkte Berührung kommt, und soll dadurch dem Material, bei gleichem Gummigehalt, eine höhere Widerstandsfähigkeit geben; der Stanniolmantel wird nach dem Vulkanisieren wieder entfernt.

Die allgemeinen Anforderungen an Kabelgummi sind recht schwer festzulegen, da gerade hierin die Ansichten teilweise sehr weit auseinandergehen. Verlangt werden in der Hauptsache hohe Isolierfähigkeit und Dauerhaftigkeit, die übrigen Eigenschaften ergeben sich aus dem Material an sich und seiner Behandlung. Es soll im folgenden versucht werden, die hauptsächlichsten Anforderungen an der Hand der besonderen Vertragsbedingungen der R. T. V.[1]) für die Lieferung von Gummikabeln kurz zu erörtern; außerdem wird hierzu noch auf die Ausführungen über Gummikabel im III. Abschnitt hingewiesen.

Über die Zusammensetzung der zu verwendenden Gummimischungen bestehen bei den einzelnen Behörden und Gesellschaften hinsichtlich des erforderlichen Mindestgehaltes an reinem Paragummi recht abweichende Vorschriften. Der geforderte prozentuale Betrag schwankt zwischen 30 und 60 v. H.; ungefähr 45 v. H. stellt jedenfalls einen guten Mittelwert dar.

Ein für die Technik hauptsächlich in Betracht kommender Bestandteil des Rohgummis sind die Harzbeimengungen, welche bei feinen Parasorten höchstens etwa 3 v. H. betragen, bei billigen Sorten aber bis über 50 v. H. ansteigen. Die Baumharze mischen sich bei der Gewinnung des

---

[1]) In den Vertragsbedingungen der R. T. V. ist übrigens noch ausdrücklich angegeben, daß eine Prüfung der gelieferten Gummikabel durch das Kgl. Material-Prüfungsamt in Groß-Lichterfelde (oder eine andere geeignete Stelle) erfolgen soll. Nach E. T. Z. 1909, S. 1204 (Martens, Kontrolle des Kautschukmaterials) haben auch — gemäß dem Sitzungsprotokoll der Draht- und Kabelkommission des Verbandes deutscher Elektrotechniker vom 4. Dezember 1908 — die Fabrikanten isolierter Leitungen über die Prüfung der Gummileitungen durch die genannte Behörde ein Abkommen getroffen. Hiernach soll die Zusammensetzung der Gummimischungen für Normalleitungsdrähte aus 33,3 v. H. Kautschuk (mit höchstens 4 v. H. Harz) und 66,7 v. H. Füllstoffe (einschließlich Schwefel) bestehen. Von organischen Füllstoffen ist nur Ceresin (bis höchstens 3 v. H.) zulässig. Das spezifische Gewicht des Adergummis soll mindestens 1,5 betragen. Über den Umfang und die Ausführung der Materialprüfungen sind genaue Anweisungen gegeben.

Kautschuks unter den latex, dieser Zusatz soll aber nach der Reinigung möglichst gering sein. Die Forderung eines niedrigen Harzgehaltes schließt jedoch andererseits noch nicht die Verwendung minderwertigen Materials aus, und umgekehrt braucht Gummi mit geringem Harzgehalt deshalb noch nicht ohne weiteres für Kabelzwecke besonders geeignet zu sein. Auch ist die Frage, ob ein etwas größerer Harzgehalt die Isolation verschlechtert, noch nicht einwandfrei geklärt; es ist daher nicht zweckmäßig, von der Bestimmung des Harzgehaltes einer Mischung ganz abzusehen. Die R. T. V. hat als höchst zulässigen Betrag 4 v. H. in bezug auf die Menge des vorhandenen Paragummis, d. h. also 1,8 v. H. in einer 45 proz. Mischung, festgesetzt. Eine allzu niedrige Grenze ist schon deshalb nicht angebracht, weil gutes Gummi jetzt nicht mehr so leicht wie früher zu beschaffen ist.

Zur Ermittelung des Harzgehaltes wird nach den Bedingungen der R. T. V. die Behandlung mit kochender fünfprozentiger alkoholischer Natronlauge angewendet; der Harzgehalt wird dann durch Ausscheiden der Harze aus der Lösung festgestellt.

Einen wesentlichen Bestandteil der Gummimischungen bilden noch die anorganischen Beimengungen. Nach den Bedingungen der R. T. V. ist ein Zusatz von höchstens 52 v. H. der Gummi- oder Okonithülle vorgesehen. Außer anorganischen Zusätzen, einschließlich des zur Vulkanisierung erforderlichen Schwefels, dürfen die Gummimischungen fremde Bestandteile überhaupt nicht enthalten. Diese anorganischen Beimengungen bilden die billigen und bequemen Füllstoffe[1]) der Gummimischungen und werden dem Gummi durch Verkneten in inniger Verbindung mechanisch beigemengt. Sie bestehen in der Hauptsache aus Talkum, um die Mischungen leichter verarbeiten zu können; aus Zinkweiß, um etwa überschüssigen Schwefel zu binden; weiter auch aus Bleiglätte, Kreide, Asbest, Schwerspat usw., je nach den Mischrezepten der einzelnen Firmen, um gewisse Härte, Zähigkeit, Farbe usw. zu erzielen und um die Preise möglichst niedrig zu halten. Die Beimengungen beeinträchtigen zwar mehr oder weniger die dielektrischen Eigenschaften des Gummis, ihre Auswahl wird aber seitens der R. T. V. den Fabrikanten anheimgestellt, auch wird ihnen überlassen, wie sie die sonstigen Anforderungen an Kabelgummi erfüllen.

Der Gehalt an anorganischen Bestandteilen wird indirekt durch Veraschung nach der Methode Weber bestimmt. Bei diesem Verbrennungsprozeß werden die gesamten organischen Teile abdestilliert, die Rückstände bilden den anorganischen Anteil; Gummi, Harz und Schwefel sind verflüchtigt. Der oben erwähnte Durchschnittssatz von 52 v. H. ist ermittelt aus 100 — 45 (reines Paragummi bei Kabeln der R. T. V.) — 1,8 (Harz), der verbleibende geringe Rest entfällt auf den Schwefel. Eine Mindestgrenze für die anorganischen Bestandteile der Gummihüllen festzusetzen, ist seitens der R. T. V. nicht als erforderlich erachtet worden, zumal aus einem geringeren Aschengehalt noch nicht ohne weiteres auf eine größere Menge von Gummi geschlossen werden kann[2]).

---

[1]) Zu vgl. Baur, S. 334. — [2]) Näheres über Prüfung von Gummi (und Guttapercha) ist auch aus den Veröffentlichungen im „Jahrbuch der Kautschukindustrie und verwandten Betriebe", Dresden 1907, zu ersehen; ferner „Chemisch-technische Untersuchungsmethoden" von Prof. Lunge, 5. Aufl., Berlin 1905. Band III, S. 317 ff.

In dem vulkanisierten Gummi bleibt stets ein Überschuß von freiem ungebundenem Schwefel in mechanischem Gemenge zurück, da nur bei Überschuß von Schwefel ein genügendes Vulkanisieren eintritt. Nach den obigen Ausführungen über die Vulkanisation wird der zulässige Gehalt an freiem Schwefel allgemein nicht bestimmt werden können und muß daher den Fabrikanten überlassen bleiben. Mäßige Mengen üben auch keinen nachweisbar schädlichen Einfluß aus, der Schwefel spielt lediglich die Rolle einer mineralischen Beimengung. Bei zu hohem Gehalt tritt allerdings ein Ausblühen ein; etwa 2 v. H. wird als zulässige Grenze unbedenklich noch anerkannt werden können, doch ist der Anteil meistens erheblich geringer. Bei der R. T. V. sind Höchst- oder Mindestwerte nicht festgelegt; im Auslande ist dieses teilweise der Fall.

Organische Beimengungen zu den Gummimischungen der Kabel der R. T. V. sind verboten. Unter den Zusätzen und Füllstoffen organischer Natur spielen die wichtigste Rolle Faktis, feste Kohlenwasserstoffe und Altgummi. Sie sind im allgemeinen zwar für die Isolation nicht schädlich, beeinträchtigen aber meistens die Lebensdauer; doch gehen die Ansichten über den Einfluß der einzelnen Beimengungen teilweise noch auseinander. Als feste Kohlenwasserstoffe kommen hauptsächlich Ceresin, Paraffin und Ozokerit in Betracht. Da ihr guter Einfluß noch nicht einwandfrei nachgewiesen ist, sie andererseits aber die Gefahr einer geringeren Haltbarkeit mit sich bringen und außerdem die chemische Analyse komplizieren, so sind diese Stoffe als Zusatz zu den Gummimischungen ausgeschlossen worden. Ozokerit ist das natürlich vorkommende, schwarze Erdwachs, es soll angeblich die Mischung trockener machen; Ceresin ist ein in der Hauptsache aus Ozokerit bestehendes, gereinigtes Material; Paraffin ist ein weißer, wachsartiger fetter Körper, der aus verschiedenen natürlichen Erdprodukten gewonnen wird und namentlich zur Abhaltung von Feuchtigkeit Anwendung findet. Faktis sind künstliche Kautschuksurrogate, welche aus vulkanisierten oxydierten Ölen gewonnen werden. Ihre Beimengung zu der Gummimischung trägt zweifellos zur Verringerung der Lebensdauer bei, sie machen auch durch ihre Anwesenheit die Ergebnisse chemischer Analysen unsicher. Das etwaige Vorhandensein von Faktis wird bei Feststellung des Harzgehaltes gleichzeitig mit festgestellt, ebenso erfolgt dabei auch die Prüfung auf feste Kohlenwasserstoffe.

Es soll hier noch auf ein Moment hingewiesen werden, welches bei den verschiedenen Gummiprüfungen nicht unberücksichtigt bleiben darf. Die Kabelfirmen, welche die Gummimischungen aus den Rohgummisorten und besonderen Zusätzen nach ihren eigenen Rezepten herstellen, sind naturgemäß in ganz anderer Weise in der Lage, Prüfungen vorzunehmen oder Prüfverfahren [1]), je nach ihrem Interesse, in Vorschlag zu bringen, als die abnehmenden Käufer, deren Interesse dahin gehen wird, nur solche Verfahren anzuwenden, welche ganz allgemein — ohne jede Vorkenntnis etwaiger Beimengungen — einwandfreie quantitative und qualitative Analysen gestatten. Aus diesem Grunde sind die Prüfmethoden oft recht wechselnd und werden vielleicht teilweise über Gebühr empfohlen. Alkohol, Natronlauge und Aceton sind diejenigen chemischen Agentien, welche für Gummi-

[1]) E. T. Z. 1909, S. 1204; zu vgl. Anm. 1 auf S. 57.

prüfungen praktisch hauptsächlich angewendet werden, wobei auch wieder eine mehr oder weniger große Erfahrung und Übung oft entscheidend mit in Betracht kommen wird.

Regeneriertes Gummi heißen die zur Wiederverwendung aufgearbeiteten Kautschukabfälle. Die Regenerierung des Altgummis gehört zu den schwierigsten Verfahren der ganzen Kautschuktechnik, zumal die Kenntnis von der chemischen Zusammensetzung des Kautschuks selbst noch recht lückenhaft ist. Im allgemeinen wird bei allen Verwaltungen Altgummi ausgeschlossen, doch sind auch wohl Meinungen vertreten, wonach ein gewisser Zusatz gut aufgearbeiteten Altgummis sogar die Lebensdauer der Gummimischungen erhöhen soll. Hiernach wäre also gegen die Verwendung von regeneriertem Gummi an Stelle eines Teiles der anorganischen Füllstoffe an sich nichts einzuwenden. Da aber die zugesetzte Menge nur sehr schwer oder gar nicht genau festgestellt werden kann, so empfiehlt es sich, besser von seiner Zulassung als Beimengung, ebenso wie von jeder anderen organischen Substanz, ganz abzusehen.

Nach den Bedingungen der R. T. V. muß das verwendete Gummi gut elastisch sein, besondere Prüfungen sind aber nicht vorgeschrieben. Die mechanischen Prüfungen der von Kabeladern abgelösten Gummihüllen sind recht schwierig auszuführen; hierbei kommen Versuche zur Ermittelung der Dehnung und der Zugfestigkeit in Betracht. Die Elastizität ist, abgesehen von dem Material, auch von dem Gehalt an freiem Schwefel abhängig, der, wie alle anorganischen Beimengungen, die Gummimischung kompakt macht. Die Reißfestigkeit nimmt dagegen innerhalb der üblichen Schwefelzusätze zu. Die Bedingungen für Elastizität sind noch nicht genügend zu allgemeiner Gültigkeit festgestellt. Es ist aber bemerkenswert, daß höhere Elastizität geringere dielektrische Eigenschaften herbeiführt. Sollen daher große Isolierfähigkeit und Durchschlagsfestigkeit erzielt werden, so wird man an die Elastizität nicht allzu große Anforderungen stellen können. Die Zugfestigkeit des Gummis wird bei der Verlegung der Kabel nur sehr wenig beansprucht und kommt nur für isolierte Freileitungen beim Ziehen auf längeren Strecken in Frage, sie wird aber durch die sonstigen geforderten Eigenschaften als ausreichend gewährleistet betrachtet werden können. Im übrigen werden elektrische Durchschlagsversuche auch die mechanische Festigkeit der Isolierhülle genügend nachweisen lassen.

Für Kabel kommen hauptsächlich die elektrischen Eigenschaften Kapazität, Isolationswiderstand und elektrische Festigkeit in Betracht.

Die Dielektrizitätskonstante für Gummi wird, wie bei Guttapercha, recht verschieden angegeben, nach Siemens[1]) kann man im Durchschnitt für Rohgummi 2,34 und für vulkanisiertes Gummi 2,94 annehmen. Hiernach beträgt die Kapazität einer Gummiader nach der auf S. 14 gegebenen Formel für 1 km $\frac{0{,}071}{lg \frac{D}{d}}$ Mf, d. h. sie ist etwa 13 v. H. geringer als für Guttaperchaadern gleicher Abmessung (zu vgl. S. 53). In der Praxis geht man jedoch bei

[1]) Zu vgl. Baur, S. 14.

den Bedingungen für die Kapazität der Gummikabel, wie bei allen anderen Kabeln, nicht bis auf die berechneten äußersten Grenzen, sondern setzt höhere Werte als höchst zulässige Kapazität fest[1]).

Ein hoher Isolationswiderstand[2]) ist noch nicht immer ein sicheres Zeichen für das Vorhandensein einer besonders guten Gummisorte, da auch billigere Mischungen so verarbeitet werden können, daß sie zunächst den Anforderungen an eine hohe Isolation entsprechen. Immerhin ist der Isolationswert abhängig von dem Gummigehalt an sich, den Beimengungen und der Fabrikationsweise; die Isolation der Gummimischungen kann daher, selbst bei derselben Fabrikationsmethode, in großen Grenzen schwanken. Da Gummi, wie auch Guttapercha, als Pflanzensaft schon natürlich Feuchtigkeit enthält und diese in vermehrtem Grade noch bei dem Waschprozeß aufnimmt, da aber andererseits, um das Material nicht zu zerstören, der Austrocknungsprozeß nicht so weit getrieben werden darf, wie bei den Pflanzenfasern (Papier usw.), so begnügt man sich praktisch mit einer mittleren Isolation. Mit wenigen Ausnahmen schreiben alle bekannten Bedingungen für Gummikabel Isolationswerte in der Größenordnung von $x \cdot 10^2$ vor. Die amerikanischen Telephongesellschaften verlangen bei 1,2 mm Dicke der Gummischicht und 1.6 mm Leiter 500 Megohm, doch werden meistens für derartige Kabel nur 200 Megohm gefordert Nach diesem letzteren Werte sind seitens der R. T. V. verhältnismäßig die festgesetzten Mindestisolationswerte[1]) für die verschiedenen Adern berechnet worden.

Die elektrische Festigkeit kommt, wie bereits mehrfach erwähnt, für Telegraphen- und Fernsprechkabel nicht wesentlich in Betracht. Die elektrische Spannungsprobe bietet aber doch ein gutes Mittel, um bis zu einem gewissen Grade die Gleichmäßigkeit und praktische Brauchbarkeit einer Gummiisolation zu prüfen, sie läßt namentlich diejenigen Fehlerstellen finden, welche infolge Material- oder Konstruktionsfehler (z. B. durch exzentrische Lage des Leiters) verursacht sind. Abgesehen von den als Schutz gegen Starkstrom zu verwendenden isolierten Leitungen[3]) sind aber seitens der R. T. V. für Gummiadern Werte für die Durchschlagsfestigkeit noch nicht festgesetzt worden. Soweit Durchschlagsproben vorgenommen werden, sind sie zweckmäßig vor den Isolationsmessungen auszuführen, da sie unter Umständen schädliche Veränderungen im Dielektrikum verursachen können.

Ein in der Technik vielfach verwendetes Isoliermaterial ist das Hartgummi oder Ebonit, als dessen Erfinder der Amerikaner Goodyear genannt wird. Seine Herstellung beruht im großen und ganzen auf denselben Grundsätzen, wie diejenige des Weichgummis. Der wesentliche Unterschied liegt nur in dem erheblich höheren Zusatz von Schwefel, der bis zu 50 v. H. beträgt. Die Menge dieses Zusatzes bedingt die Härte des Materials, es wird aber bei noch höherer Vulkanisation spröde und bricht dann schon bei leichtem Biegen. Außer Schwefel werden je nach den Ansprüchen an Härte, Biegsamkeit, Elastizität oder Farbe noch verschiedene andere Beimengungen

---

[1]) Zu vgl. S. 114 u. 126. — [2]) Zu vgl. Baur, S. 220. — [3]) Zu vgl. die betreffenden Angaben im Abschnitt III.

hinzugefügt. Das Vulkanisieren erfordert mehr Zeit und auch höhere Wärme als bei Weichgummi.

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Hartgummis sind von denen des Weichgummis sehr verschieden. Ebonit ist schwarz, vollständig geruchlos und hartem Holz oder Elfenbein ähnlich. Für die Lösungsmittel des Weichgummis ist dieses Material ganz unempfindlich und besonders widerstandsfähig gegen Säuren. Licht und atmosphärische Luft greifen es erheblich weniger an, größere Wärme macht es aber weich und biegsam. Bei hohen Temperaturen wird es nicht klebrig und schmilzt nicht, beginnt vielmehr ohne Zwischenzustand zu verkohlen; es ist also auch feuergefährlich. Hartgummi läßt sich wie Holz bearbeiten und ist in hohem Grade polierfähig. In der Kabeltechnik findet Ebonit zu Isolierbrettern in Abschluß- und Verteilermaterialien in großem Umfange Anwendung, da es, namentlich in poliertem Zustande, eine außerordentlich hohe Isolation [1]) gewährleistet.

Papier [2]).

Die Verwendung des Papiers als Isoliermittel für Kabel findet nach zwei verschiedenen Gesichtspunkten statt: Entweder dient das Papier selbst unmittelbar als Dielektrikum und wird dann, vielfach noch mit besonderen dielektrischen Tränkungsmitteln beschwert, fest um die Leitungsadern gewickelt. Dieses Verfahren findet in der neueren Schwachstromkabeltechnik jedoch nur noch selten statt; in der Hauptsache wird eine derartige Isolierung bei der Herstellung von Starkstromkabeln verwendet. Für die modernen Telegraphen- und Fernsprechkabel dient nach dem zweiten Verfahren das Papier weniger als eigentliches Isoliermaterial, sondern vielmehr als trennende Schicht zwischen den durch Lufträume voneinander getrennten Leitungsadern, wobei gleichzeitig die Porösität des Papiers noch eine Zirkulation der Luft auch zwischen den einzelnen Adern gestattet. Das Papier ermöglicht durch seine Steifheit die Beibehaltung der um die Leiter entstandenen Lufträume, es verhindert andererseits eine gegenseitige Berührung der Adern und sichert eine sehr hohe Isolation der einzelnen Leitungen gegeneinander und gegen die äußere Schutzhülle. Die eigentliche Isolierung bildet jedoch in erster Linie die Luftschicht.

Solche Kabel weichen grundsätzlich von den mit Guttapercha oder Gummi isolierten Kabeln ab. In diesen dient das die Drähte umgebende Dielektrikum nicht nur dazu, die einzelnen Adern zu isolieren und in ihrer gegenseitigen Lage festzuhalten. Diese Isoliermittel schützen die Leitungsadern vielmehr auch gleichzeitig gegen Feuchtigkeit und Nebenschließungen, so daß die Stromkreise betriebsfähig bleiben, selbst wenn die isolierende Hülle äußerlich der Feuchtigkeit ausgesetzt ist. Die papierisolierten Kabel dagegen gehören in die Kategorie solcher Kabel, bei denen irgend ein festes Dielektrikum in erster Linie nur als mechanisches Trennungsmittel dient und in denen dem zerstörenden Einfluß der Feuchtigkeit auf die einzelnen Leiterkreise durch eine besondere wasserdichte äußere Hülle begegnet werden muß. Während früher das Bestreben dahin ging, die einzelnen Leiter der Kabel mit den

[1]) Näheres bei Besprechung der Kabelhauptverteiler im Abschnitt VIII. — [2]) Zu vgl. auch Coyle and Howe, S. 102 ff.

isolierenden Stoffen dicht zu umpressen, so daß im Innern der einzelnen Adern möglichst keine Luft mehr vorhanden war (was allerdings in der Praxis nie vollkommen erreicht werden kann), ist bei den Papierhohlraumkabeln der entgegengesetzte Weg beschritten und festes Material nur insoweit gewählt worden, als es zur gegenseitigen Trennung der Leitungsadern erforderlich ist.

Die erste Anregung zur Verwendung von Papier als Isoliermaterial wurde durch das Suchen nach billigeren Stoffen von zugleich geringerer Dielektrizitätskonstante gegeben. Letztere beträgt für Papier im Durchschnitt etwa 1,6. Die Verwendung von Papier stellt also schon aus diesem Grunde einen wesentlichen Fortschritt gegenüber der Guttapercha und dem Gummi dar. Nachdem es dann im Laufe der Jahre durch Zusammenarbeiten der Papier- und Kabelfabrikanten gelungen war, ein allen Anforderungen [1]) genügendes Material herzustellen, wurde für neuere Kabel immer mehr und mehr von anderen Isolierungsarten abgesehen.

Die allgemeinen Anforderungen an Kabelpapier sind nach zwei Richtungen zu betrachten: hinsichtlich der eigentlichen Zusammensetzung des Materials und hinsichtlich der mechanischen Konstanten, welche durch die Struktur des Papiers gegeben sind. · Aus diesen Beziehungen ergeben sich die elektrischen und physikalischen Eigenschaften. Der Zusammenhang zwischen Zusammensetzung und Struktur einerseits und den elektrischen und physikalischen Eigenschaften andererseits ist jedoch (nach Beaver) so fein, daß er nur durch zahlreiche, mit größter Genauigkeit durchgeführte Versuche bestimmt werden kann.

Hinsichtlich des Materials geht die Praxis der besten englischen und amerikanischen Kabelfabriken dahin, ausschließlich Papier aus Manila, Hanf oder Flachs, zu verwenden [2]). Die Zusammensetzung des Papiers läßt sich durch chemische und mikroskopische Prüfungen [3]) ausreichend so weit nachweisen, daß unerwünschte Fasern in größerem Maße nicht in das Papier gelangen können. Namentlich sind solche Fasern zu vermeiden, die sich mit Manila nicht gut verfilzen und die Struktur, welche überall gleichmäßig sein soll, aufbrechen, oder die infolge ihres holzigen Charakters die Dauerhaftigkeit des Papiers nachteilig beeinflussen. Viele Fabriken wenden aber für ihre Kabel Papier an, welches in großen Mengen Holzbrei enthält oder ausschließlich daraus hergestellt ist, indem sie von der Voraussetzung ausgehen, daß Holzbreipapier besser als Manilapapier sei; der Beweis hierfür ist jedoch nicht erbracht. Ein gewisser Vorzug besteht allerdings insofern auf seiten des ersteren, als es, speziell in Deutschland, wegen der hohen Transportkosten für Manila billiger ist. Nach der amerikanischen Praxis darf ein Kabelpapier keine Zusätze von mechanischem Holzbrei, Jute oder Stroh enthalten. Die Behandlungsmethoden der rohen Manilabastfasern — von den Pflanzen verschiedener Musaceen — lassen sich an dem fertigen

[1]) Zu vgl. The Electrician, London, Bd. 63, Nr. 13, S. 496 ff., Aufsatz von C. Beaver. — [2]) Das Manilapapier ist nach Beaver das am besten geeignete Kabelpapier. Die Praxis hat weiter ergeben, daß es nicht notwendig und selbst nicht zweckmäßig ist, ausschließlich reine Manilafaser zu verwenden; ein geringer Zusatz von natürlichen Holzzellstoffen gibt anscheinend eine etwas größere Zugfestigkeit. — [3]) Zu vgl. Herzberg, Papierprüfung, Berlin 1902, S. 62 ff.

Fabrikat nachweisen. Die Fasern, welche an sich teilweise mehr oder weniger verholzt sind, sollen nach der Bearbeitung möglichst gleichmäßig und vollständig entholzt, zu reinen Zellstoffen aufgeschlossen sein, da sie dann geschmeidiger, dauerhafter und für Kabelpapier geeigneter werden.

Lumpenpapier wird wegen seiner verschiedenartigen Zusammensetzung und geringeren Qualität überhaupt nicht zu Kabelzwecken verwendet.

Das spezifische Gewicht des Kabelpapiers schwankt etwa zwischen 0,8 und 1,1, im Durchschnitt kann man ungefähr 1 annehmen.

Eine weitere Forderung an die Zusammensetzung des Papiers besteht darin, daß es frei sein soll von mineralischen und solchen Substanzen, welche seine Lebensdauer verringern oder auf die Kupferleiter und den Bleimantel zersetzend einwirken können; zu letzteren gehören namentlich freies Chlor, freie Säuren, Schwefel und Schwefelverbindungen. Einen natürlichen Betrag an Mineralstoffen enthält zwar jede Faser, doch ist der Prozentsatz sehr verschieden, er schwankt für Manila (nach Beaver) zwischen 1,3 und 3,2 v. H. Ausschlaggebend hinsichtlich des Mineralgehaltes ist jedenfalls der Standpunkt des Elektrikers, da sowohl die Art als auch die Menge solcher Stoffe die Isolation und Kapazität der Kabel schon bei geringen Unterschieden (nach Beaver schon bei $^1/_2$ v. H.) merklich beeinflussen können. Hiernach ist die Verhütung solcher Beimengungen zweifellos weit mehr im Interesse der elektrischen Eigenschaften, als in dem der Festigkeit oder Dauerhaftigkeit.

Da das Papier bei der Fabrikation und späteren Verlegung der Kabel auf Zug beansprucht wird, so werden von den Kabelpapieren auch noch gewisse mechanische Bedingungen erfüllt sein müssen. Wichtig ist zunächst, daß das Papier vollständig gleichmäßig in der Dicke ist und keine Risse oder Löcher zeigt, auch dürfen keine harten Teilchen (hervorgerufen durch nicht genügend verarbeitete Rohstoffe) vorhanden sein. Solche Papiere reißen leicht und erschweren daher die Fabrikation und spätere Verwendung der Kabel. Erfahrungsgemäß trägt eine gleichmäßige Durchschnittsstruktur auch wesentlich zur Gleichmäßigkeit des Isolationswiderstandes und der Kapazität bei. Eine weitere Forderung ist möglichst hohe Geschmeidigkeit und genügende Weichheit, damit das Bewickeln der Leitungsadern glatt vonstatten geht. Weitere wichtige Faktoren sind Zugfestigkeit und Dehnbarkeit.

Hinsichtlich der Zugfestigkeit brauchen besonders hohe Forderungen so lange nicht gestellt zu werden, als durch die Auswahl des Materials selbst schon ein guter Sicherheitsfaktor dafür gegeben ist, daß es den vorkommenden Beanspruchungen ausreichend widerstehen kann. Gerade hierin ist das Manilapapier dem chemischen Holzbreipapier erheblich überlegen, zumal die Verarbeitung der Manila eine Zerstörung der natürlichen Fasern verhältnismäßig nur wenig begünstigt. Die Festigkeit eines Papiers ist nicht nach allen Richtungen gleich groß, da die Fasern sich bei der Papierfabrikation vorzugsweise in der Richtung des Durchlaufs durch die Maschinen lagern und das Papier dadurch in dieser Richtung größere Festigkeit erhält. Wichtig ist in gewisser Beziehung noch das Verhältnis zwischen Längs- und Querfestigkeit, weil daraus direkte Schlüsse auf die Struktur der Fasern, z. B. das Verfilzen der Fasern, gezogen werden können. Nach Beaver ist dieses Verhältnis bei Manilapapier im Durchschnitt etwa 2 : 1.

Um bei Festigkeitsproben den Einfluß von Breite und Dicke des Streifens auszuschalten, ist der Begriff der Reißlänge [1]) eingeführt worden. Man versteht hierunter diejenige Länge eines Papierstreifens von beliebiger, aber gleichmäßiger Breite und Dicke, bei welcher er, an einem Ende aufgehängt gedacht, infolge seines eigenen Gewichtes am Aufhängepunkte abreißen würde. Diese Länge — auch Traglänge genannt — kann aus der mit Zerreißmaschinen ermittelten Bruchlast abgeleitet werden und beträgt nach Hartig:

$$\frac{0{,}18 \,.\, k}{g} \text{ km};$$

hierin bezeichnen k die Belastung in kg im Moment des Reißens und g das Gewicht in g eines Streifens von 0,18 m Länge; die Breite des Streifens ist ohne Einfluß. Der Wert von 180 mm ist gewählt worden, weil nach den bei Festigkeitsprüfungen gewonnenen Erfahrungen die Dehnungsprozente für alle Streifen von 180 mm an aufwärts nahezu die gleichen sind; mit abnehmender Länge wächst die Dehnung. Der Quotient aus der Länge und dem Gewicht des Streifens wird als Feinheitsnummer des Papiers bezeichnet. Man kann für die vorkommenden Papiergewichte Tabellen anlegen, nach denen sich die Berechnung der Reißlängen erheblich vereinfacht.

Ebenso wie die Festigkeit ist auch die Dehnbarkeit des Papiers in beiden Richtungen verschieden, doch ist hier das Verhältnis in der Längs- und Querrichtung gerade umgekehrt, nach Beaver etwa 1 : 2. Die Größe der Bruchdehnung, d. h. die Verlängerung des belasteten Streifens im Moment des Reißens, ist ebenfalls noch eine bemerkenswerte Zahl hinsichtlich der Qualität von Kabelpapier.

Die Stärke des Kabelpapiers ist recht verschieden und schwankt etwa zwischen 0,05 und 0,16 mm; noch stärkeres Papier zu wählen, ist nach den Erfahrungen der Praxis unzweckmäßig, da es dann weniger gut zu verarbeiten ist.

Selbstverständlich muß das zur Fabrikation der Kabel verwendete Papier vollständig trocken sein. Die Kabel müssen also nach ihrer Verseilung zunächst noch einem besonderen Trockenverfahren [2]) unterworfen werden. Der Grad der Trockenheit bedingt wesentlich mit das Isoliervermögen und die Kapazität. Das Kabel wird mit Bezug auf diese Größen mit zunehmender Austrocknung besser, doch darf der Trockenprozeß nicht zu weit getrieben werden, da sonst das Papier brüchig und zur Anfertigung von Spleißstellen ungeeignet wird.

Es soll hierbei noch auf ein Erfordernis für Kabelpapier hingewiesen werden, welches für solche Kabel, die für die Druckluftbehandlung (näheres zu vgl. im Abschnitt IX) vorgesehen sind, besonders in Betracht kommt. Bei diesen Kabeln muß nämlich großer Wert darauf gelegt werden, daß das zur Isolierung verwendete Papier eine möglichst geringe Quellfähigkeit besitzt, weil sonst beim Eindringen von Feuchtigkeit in das Kabel das gequollene Papier wie ein luftdichter Pflock wirken und den Durchgang der Luft verhindern würde. Stark quellendes Papier darf also nicht verarbeitet werden.

---

[1]) Zu vgl. das auf S. 63 erwähnte Werk von Herzberg, S. 6, 28 und 30; für die Zerreißversuche hat sich im allgemeinen eine Streifenbreite von 15 mm als recht praktisch erwiesen. — [2]) Zu vgl. S. 27.

Es mögen zu Vergleichszwecken hier einige Vertragswerte aus verschiedenen Lieferungsbedingungen für Papierkabel kurz mitgeteilt werden. Die deutsche R. T. V. fordert im allgemeinen eine mittlere Reißlänge von mindestens 4 km und eine Bruchdehnung von mindestens 2 v. H. In einigen neueren Verträgen über Telegraphenkabel ist gefordert, daß ein mit $2^1/_2$ kg belasteter ungebrauchter Streifen von 10 mm Breite und 50 cm Länge zehn halbe oder fünf volle Torsionen aushalten soll, bei anderen Breiten ändert sich das Gewicht der Belastung in gleichem Verhältnis. Wenn auch nicht ausdrücklich angegeben, so wird zugunsten der R. T. V. zu fordern sein, daß sich diese Angaben auf das fertige Fabrikat, d. h. auf das getrocknete und zur Abnahme bereit gestellte Kabel beziehen sollen. Die Dicke und Breite des Papiers sind nicht festgelegt.

Die Prüfung der Festigkeit des Papiers erfolgt vertragsmäßig bei der Abnahme der Kabel in den Fabriken durch von diesen zur Verfügung zu stellende Vorrichtungen. Sind solche nicht zur Hand, so wird der Beamte sich wenigstens durch Reißversuche mit kurzem, kräftigem Zug mit der Hand davon zu überzeugen haben, daß das verwendete Papier den Anforderungen genügt; es bildet sich hierfür durch Übung bald eine gewisse Erfahrung.

Die französischen Papierkabelverträge fordern eine Stärke zwischen 0,05 und 0,08 mm. Ein neues Band von $^1/_3$ m Länge soll eine Belastung [1]) von 4 kg für 1 g seines Gewichts auf einen laufenden Meter aushalten, das Band in den fertigen Kabeln eine solche von 3,75 kg; nach 24 stündiger Lagerung in Wasser und darauf vorgenommener Lufttrocknung sollen diese Werte noch 3,5 bzw. 3,25 kg betragen.

Die englische [2]) Telegraphenverwaltung hat für ihre großen Telegraphenkabellinien eine Papierstärke von durchschnittlich 0,063 mm festgelegt und fordert für 1 mm der Dicke verhältnismäßig eine Mindestbelastung von 71,5 kg bei einer Breite von 2,54 cm.

Die amerikanischen Kabelverträge gehen in ihren mechanischen Anforderungen an das Papier je nach den einzelnen Gesellschaften teilweise recht auseinander; die Papierstärken und Breiten, sowie die Belastungsgrenzen sind im allgemeinen sehr genau festgesetzt.

Seide.

Der Seidenfaden, der aus den beiden Spinndrüsen des Seidenwurms (Bombyx mori) ausgeschieden wird, besteht aus zwei sehr feinen Fibroinfäden, die vor dem Austreten durch das Drüsensekret (Sericin) zusammengeleimt werden, so daß der Faden einen ∞ förmigen Querschnitt erhält; seine Breite beträgt etwa 0,018 bis 0,032 mm. Das Gespinst der Seidenraupe, das Kokon, ist ein eiförmiges, etwa 3 bis 6 cm langes Gehäuse, in dem unter einer äußeren wirren Schicht der eigentliche abspulbare Doppelfaden von 300 bis 900 m Länge aufgeschichtet ist. Auf 1 kg Rohseide kann man 12 bis 18 kg Kokons rechnen. Dieser Faden wird mit der Hand oder in einer Maschine abgehaspelt, wobei 2 bis 40 Fäden zu einem dickeren Faden,

[1]) Nach einem Vortrage von Bazille auf dem Internationalen Kongreß der Telegraphentechniker in Budapest 1908. — [2]) Nach „The Electrician", Bd. 56, S. 504, London.

dem Grègefaden, zusammengezwirnt werden. Zwei oder mehrere solcher Grègefäden werden dann miteinander verseilt, und zwar entweder zu Trame- oder zu Organsinseide. Diese beiden Seidenarten unterscheiden sich nur durch die Art der Verseilung. In der Trameseide haben die Grègefäden einen sehr geringen Drall, sie kommt allein für die Isolierung elektrischer Leitungen in Frage, da sie größere Deckfähigkeit als die Organsinseide besitzt.

Die Seidengarnfäden werden nach Titres[1]) bezeichnet. Diese stellen die Garnnummern dar. Der Faden ist um so schwerer, je höher die Nummer ist. Der Titre erhält meistens eine Bruchform, da die Nummer nicht immer genau zu bestimmen ist, der wirkliche Wert liegt dann zwischen den beiden Zahlen. Der Titre selbst ist gewöhnlich nach g, jedoch auch nach deniers (1 denier = 0,05g) berechnet, wobei das Gewicht eines Grègefadens von 500 m — seltener von anderer Länge, z. B. 450 oder 476 m — angegeben wird.

Die Rohseide besteht[2]) im Durchschnitt aus 55 v. H. in Wasser unlöslichem Seidenfaserstoff, dem Fibroin, 24 v. H. Eiweiß, 20 v. H. Sericin (der leimartigen Substanz) und Spuren von Wachs, Fett und Farbstoffen; das spezifische Gewicht ist 1,34.

Die Seidenarten sind je nach dem Klima des Ursprungslandes, den Rassen des Seidenwurms und dessen Züchtungsart verschieden.

Als beste Seide gilt die italienische, ihr am nächsten kommt die japanische und an dritter Stelle die Chinaseide. Diese Seiden haben wieder mehrfache Unterabteilungen, von denen hinsichtlich der Chinaseide hauptsächlich die Kantonseide (vielfach auch kurz nur als Chinaseide bezeichnet) und die Tussahseide zu nennen sind. Die Tussahseide steht ersterer als Material an Güte etwas nach, ist daher auch billiger, sie ist aber gröber im Faden als die anderen Seiden und dadurch auch widerstandsfähiger und wird infolgedessen meistens zur Kabelfabrikation verwendet. Infolge des kräftigeren Fadens bildet sie eine etwas stärkere Isolierschicht. Dieser Unterschied ist jedoch nicht so wesentlich im Verhältnis z. B. zu Wolle oder Baumwolle, andererseits ist die dickere Schicht sogar günstig, da die Kapazität dadurch etwas verringert wird. Außer nach den Ursprungsländern werden die einzelnen Seidenarten noch nach ihrer Qualität je für sich unterschieden; diese wird in den Verträgen meistens zum Ausdruck gebracht (sublime, classique usw.).

Ein von den erwähnten Seiden ganz verschiedenes Produkt ist die Chappeseide. Sie wird aus den nicht zum Abspulen brauchbaren Bestandteilen der Kokons, die keinen fortlaufenden Faden mehr liefern, und aus dem Abfall aller Seidenarten hergestellt. Der wenig glänzende Faden der Chappeseide besteht nicht aus langen Fadenelementen, sondern ist aus kürzeren Fäden seilartig geflochten. Dieser Faden wird ebenfalls nach Titres bezeichnet, und zwar erhält man durch Multiplikation des Titre mit 1000 die Anzahl der m, die 1 kg wiegen. Chappefäden sind etwas weniger glatt als Tramefäden. Dieses wäre zwar an sich kein Nachteil, weil dadurch die Lufträume vergrößert und die Kapazitätswerte niedriger gehalten werden. Der Vorzug der Tramefäden liegt aber in ihrer haltbareren Bildung aus langen Einzelfäden und in ihrer besseren Deckfähigkeit. Im allgemeinen werden zur Er-

---

[1]) Zu vgl. Baur, S. 320. — [2]) Näheres zu vgl. bei Richard Marzahn, Materialienkunde für den Kautschuktechniker.

zielung gleicher Isolierung mehr Lagen Chappeseide als Trameseide verwendet werden müssen, doch gleichen sich die Kosten infolge des niedrigeren Preises der Chappeseiden ziemlich aus.

Die zu Kabeln verwendete Seide wird vielfach mit Bienenwachs getränkt, um ihr einen höheren Isolationswert zu geben. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß eine solche, im übrigen sehr sorgfältig auszuführende Tränkung[1]) die Isolation nicht erheblich verbessert, dagegen die Kapazität erhöht. Außerdem verhält sich Wachs bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden[2]) verschieden und läßt mit steigender Temperatur mehr Feuchtigkeit durch. Dem Bienenwachs kommt also als Tränkungsmittel innerhalb des mit Seide isolierten Kabels keine große Bedeutung zu. Wenn die äußeren Kabelhüllen hinreichend undurchdringlich für Feuchtigkeit gemacht werden, so kann die Seide ohne Bedenken ungetränkt bleiben.

Die guten isolierenden Eigenschaften der Seide — im Gegensatz z. B. zur Baumwolle — scheinen zum Teil darin zu liegen, daß die in den Fäden gewissermaßen als Imprägnierungsmittel enthaltene leimige Masse des Seidenwurmsekrets einen besseren Schutz der Fasern gegen Feuchtigkeit darstellt.

Reine Seide wird wegen ihres hohen Preises nur selten ausschließlich als Isoliermaterial verwendet, es werden vielmehr zur Bedeckung der Seide noch wieder andere Stoffe, Wolle und Baumwolle, aufgebracht, wodurch die Kabel in der Hauptsache mechanisch fester werden. Ein großer Isolationswert ist diesen Materialien nicht zuzusprechen (näheres im Abschnitt III über Systemkabel), sie sind aber insofern zu den äußeren Schichten besser geeignet, als Seidenfäden die zu Unterscheidungszwecken erforderlichen Farben weniger deutlich als Wolle und Baumwolle hervortreten lassen.

---

[1]) Zu vgl. die Ausführungen bei der Besprechung der Systemkabel im III. Abschnitt. — [2]) Zu vgl. Dr. Schuler: „Vergleichende Untersuchungen an Systemkabeln". E. T. Z. 1905, S. 421.

Dritter Abschnitt.

Konstruktion der Kabel.

Guttaperchatelegraphenkabel[1]).

Die mit Guttapercha isolierten Kabel stellen die ersten in größerem Umfange verlegten unterirdischen Telegraphenlinien dar. Ihre Konstruktion ist auf Werner Siemens zurückzuführen, dem es gelungen war, eine nahtlose Umpressung des Leiters mit der Isolierhülle auszuführen. Voraussetzung für ein betriebsfähiges Kabel ist neben der sorgfältigen Auswahl des Isoliermaterials die wasser- und luftdichte Aufbringung der Guttapercha um die Kupferader. Es soll daher zunächst die Fabrikation einer Guttaperchaader kurz dargestellt werden.

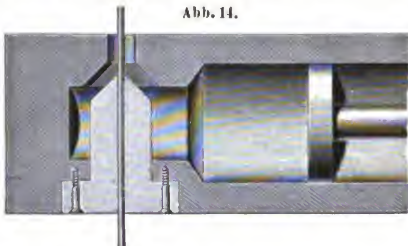
Bei dem ersten im Jahre 1846 von Werner Siemens an der Anhalter Bahn verlegten Guttaperchakabel war das Isoliermaterial mittels Walzen um den Draht gebracht. Es stellte sich aber heraus, daß die Walzennaht sich mit der Zeit wieder löste; auch sonst erfüllte diese Anlage nicht die in sie gesetzten Hoffnungen. Man hatte nämlich der Guttapercha versuchsweise Schwefel beigemengt, um sie dem Einfluß des Temperaturwechsels möglichst zu entziehen und ihr Isolationsvermögen zu erhöhen. Der Schwefel[2]) wirkte jedoch ungünstig auf das Leitungskupfer ein und verwandelte die Guttapercha unter dem Einfluß des elektrischen Stromes durch Zersetzung des entstandenen Schwefelkupfers in eine schwammige, poröse Masse. Die Vulkanisierung hatte sich also als Fehlgriff erwiesen. Die Bestrebungen zur Verbesserung der Fabrikation von Kabeladern mit Guttaperchaisolierung führten Siemens schon im nächsten Jahre, 1847, zur Konstruktion einer Schraubenpresse zum nahtlosen Überziehen der Leitungsdrähte mit der Guttapercha. Diese kleine Maschine ist von historischer Bedeutung für die ganze Kabeltechnik geworden. Die erste Ausführung dieser Guttaperchapresse befindet sich jetzt in Berlin im Reichspostmuseum.

Das Prinzip ihrer Einrichtung ist aus dem Längsschnitt der **Abb. 14** zu ersehen. In einem starkwandigen, durch Dampf erwärmten eisernen Zylinder bewegt sich ein Kolben, der durch Dampfkraft langsam vorgeschoben wird. An dem vorderen Teil des Zylinders befindet sich ein massiver Kopf mit dem zur Durchführung des Drahtes bestimmten Mundstück, das oben ein wenig enger gehalten ist. Der Draht läuft durch ein starkes Metallstück

[1]) Sehr interessante Vergleichsangaben über Guttaperchakabel sind enthalten bei Coyle and Howe, S. 150 ff. — [2]) Zu vgl. S. 52.

hindurch. Die Guttapercha wird gleichzeitig aus dem Innenraum des Zylinders durch den ringförmigen konischen Raum herausgepreßt und tritt dann mit dem Draht aus dem Mundstück heraus, so daß sie diesen konzentrisch fest umgibt. Eine solche Maschine liefert nur eine bestimmte Aderlänge. Man kann aber den Preßkolben durch ein Schneckengewinde ersetzen, in welches ständig Material nachgefüllt wird, und hat dann eine kontinuierlich wirkende

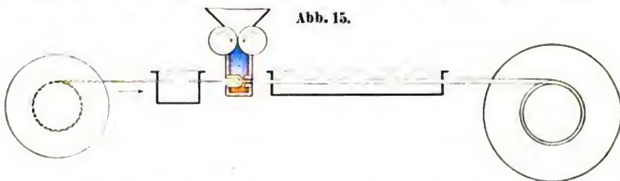
Abb. 14.



Maschine. Auch Kolbenmaschinen können bei Verwendung von zwei Zylindern dauernd arbeiten: während des Arbeitens des einen Kolbens wird der andere Zylinder nachgefüllt und es wird nachher umgesteuert.

Eine neuere Maschine für Dauerleistung, welche die etwaige Notwendigkeit einer Raststelle in einer fortlaufenden Ader vermeidet, ist die **Walzenmaschine**. Ihr Prinzip — welches durch Abb. 15 erläutert ist — besteht

Abb. 15.



darin, daß die Masse zwischen zwei gegeneinander rotierenden Walzen hindurchgezogen und dann in einem unter dem Walzenspalt befindlichen Raum um den durchlaufenden Kupferleiter gepreßt wird. Sofern einzelne Adern zu Zählzwecken eine Längswulst erhalten sollen, wird in das Mundstück an der Austrittsstelle eine Rille eingefeilt. Die Guttapercha muß natürlich regelmäßig nachgefüllt werden.

Das Isoliermaterial, welches als Marktware in rohen Platten von einigen Millimetern Stärke seitens der Fabrikanten bezogen und ohne weitere Prüfung verwendet wird, muß zunächst, wie beim Reinigungsprozeß, nochmals durch Maschinen in warmem Wasser gewaschen und zerrissen und dann wieder gepreßt werden, so daß sämtliche Luftblasen entfernt werden und die Masse selbst in den für die Verarbeitung in der Guttaperchapresse erforderlichen Zustand gebracht wird.

In **Abb. 15** ist der Arbeitsvorgang bei der Fabrikation einer Guttaperchaader schematisch dargestellt. Bevor der Kupferleiter durch die Maschine geführt wird, läuft er vom Haspel zur Erwärmung zunächst durch einen ver-

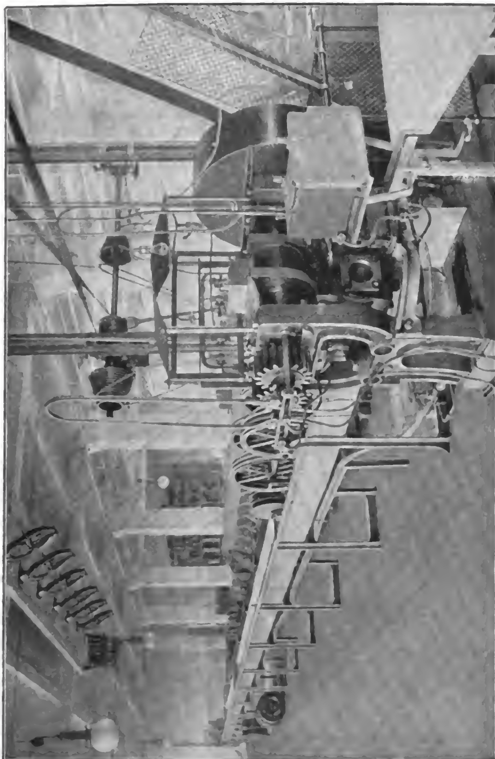


Abb. 16.

schlossenen Kasten und dann noch durch ein Bad mit Chattertonmasse. Das gebräuchliche Chattertoncompound ist eine Mischung[1]) von 65 v. H. Guttapercha, 10 v. H. Holzteer und 25 v. H. Kolophonium. Das Chattertonbad soll bezwecken, daß sich die Guttapercha ohne Luftblasen auf den Leiter

[1]) Nach Wietz, S. 49.

auflegen kann, da diese Masse sämtliche Lufträume innerhalb der Kupferlitze ausfüllt. Nach dem Austritt aus der eigentlichen Guttaperchapresse durchläuft die Ader in Hin- und Rückführung einen mit kaltem Wasser gefüllten Trog von großer Länge und wird dann auf einem zweiten Haspel wieder aufgetrommelt. Das Wasserbad ist von großer Wichtigkeit, damit die Guttapercha sich abkühlt und erhärtet. **Abb. 16** zeigt eine Guttaperchawalzenpresse mit dem Wassertroge.

Die Kabeladern erhalten nicht nur eine, sondern mehrere isolierende Lagen, jedoch werden meistens nicht nur Guttaperchaschichten, sondern zwischenliegend auch Lagen von Chatterton aufgebracht. Diese Masse ist indessen eigentlich nur ein Klebmittel zur innigen Verbindung der Guttaperchaschichten. Es sind aber schon mehrfach Bedenken laut geworden [1]), ob es zweckmäßig ist, die Lagen teilweise aus Chatterton herzustellen, da man glaubt, daß gewisse Bestandteile auf die Guttapercha ungünstig einwirken. Die folgenden Lagen werden in derselben Weise wie die erste Guttaperchaschicht aufgebracht. Neuerdings sind Maschinen im Betriebe, welche die gleichzeitige Umpressung mehrerer Lagen Guttapercha ermöglichen.

Die fertige Ader wird zunächst genau besichtigt und dann unter Wasser einer sorgfältigen elektrischen Prüfung unterzogen. Erst dann können die Adern zur Bildung der eigentlichen Kabelseele in die Verseilmaschine gebracht werden; hierbei werden gleichzeitig geteerte oder tannierte Jutefäden in die Zwischenräume zwischen die einzelnen Adern gelegt. Außerdem erhält die ganze Kabelseele noch eine solche Umspinnung; die Jute soll die Adern gleichzeitig vor Druck schützen. Über die äußere Jutelage kommt schließlich die Bewehrung.

Guttaperchakabel sind wegen der ausgezeichneten Eigenschaften [2]) des Materials vielfach verwendet worden. Ihr Anwendungsgebiet würde auch noch jetzt ein größeres sein, wenn der Preis des Isolierstoffes nicht so bedeutend in die Höhe gegangen und die Handelsware selbst großenteils minderwertiger geworden wäre. Die deutsche R. T. V. hat in großem Umfange von solchen Kabeln Gebrauch gemacht. In den Jahren 1876 bis 1881 sind in Deutschland 63 km dreiadrige, 382 km vieradrige und 5019 km siebenadrige Guttaperchakabel, zusammen mit 37 373 km Aderlänge verlegt worden, welche 221 Städte verbinden; hiervon entfallen 10,7 km auf Flußkabel. Darunter befindet sich ein Flußkabel von 0,5 km Länge mit 14 Adern.

Hinsichtlich der Konstruktion dieser Kabel der großen unterirdischen Telegraphenlinien, wie sie amtlich bezeichnet werden, ist folgendes zu bemerken:

Die Aderlitze [3]) jeder einzelnen Leitung besteht aus sieben Einzeldrähten. Diese haben, je nach den verschiedenen Kabeln, 0,63, 0,66, 0,67 oder 0,70 mm Durchmesser, der Kupferquerschnitt der einzelnen Adern beträgt also 2,18, 2,40, 2,47 oder 2,70 qmm. Der höchstzulässige Leitungswiderstand schwankt nach den damaligen Lieferungsbedingungen zwischen 8,47 und 6,59 Ohm, er

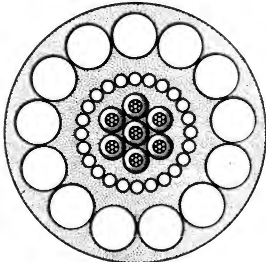
---

[1]) Nach Munro and Jamieson, Pocket-book of electrical rules, London, 11. Aufl., S. 344, wird die Isolation durch Chatterton verringert. — [2]) Kapazität und Isolationswiderstand von Guttaperchakabeln s. Breisig, S. 49 u. 83; zu vgl. ferner die Ausführungen im II. Abschnitt, S. 52. — [3]) Zu vgl. S. 7.

beläuft sich allerdings in einem Fall (Berlin-Halle) auf 9,88 Ohm; man kann im Durchschnitt rund 7 Ohm rechnen[1]). Die Isolierhülle besteht aus je zwei abwechselnden Lagen Chatterton und Guttapercha, der äußere Aderdurchmesser mißt 5,0, 5,2 und 6,0 mm. Als Isolationswiderstand waren 470,37 Megohm [= 500 Millionen S. E.[2])] gefordert, praktisch sind aber bis über 4000 nach der Verlegung erreicht worden. Die Kapazität der Kabel wurde nach der Verlegung im Mindestfall mit 0,18 Mf und im Höchstfall mit 0,24 Mf bestimmt. (Sämtliche angegebenen Werte beziehen sich auf 1 km bei 15° C.) Ein Kabel (Frankfurt-Straßburg) hat versuchsweise zur Abschwächung der Induktion um die Adern 1 und 7 eine Stanniolbandbewickelung von durchschnittlich 0,026 mm Dicke erhalten. Die mit geteerten Jutefäden zusammen verseilten und gemeinschaftlich umsponnenen Adern — von denen eine mit Längswulst versehen ist — bilden die Kabelseele, deren äußerer Durchmesser zwischen 17 und 21 mm schwankt.

Als Armatur sind die Kabel mit 15 bis 24 verzinkten Rundeisendrähten von 2,6 bis 4 mm Stärke in einem Umgange von 23 bis 32 cm versehen; die Flußkabelbewehrung ist schwerer und besteht je nach den örtlichen Verhältnissen aus einer oder zwei Lagen von Drähten bis zu 8,6 mm Stärke. Der Schutz der Eisendrahtbespinnung gegen Verrosten oder sonstige Zerstörung ist auf zwei verschiedene Weisen erreicht: Der eine Teil der Kabel ist erst auf der Strecke bei der Verlegung[3]) mit einer dicken klebrigen Schicht Asphaltteer versehen. Der andere Teil ist dagegen bereits in der Fabrik mit zwei Schichten Asphaltkomposition mit zwischenliegender Jutehanfumspinnung umgeben worden; diese Kabel haben außerdem noch einen Anstrich von Kalkmilch erhalten, damit die einzelnen Lagen auf dem Haspel nicht aneinander kleben.

Abb. 17.



Die Kabel sind in ihrer Gesamtheit von den Firmen Felten u. Guilleaume, Mülheim (Rhein), und Siemens und Halske, Berlin, geliefert und ausgelegt worden. **Abb. 17** zeigt den Querschnitt eines von letzterer Firma gelieferten siebenadrigen Flußkabels der Hamburger Linie mit 5,2 mm starken Guttaperchaadern und mit doppelter Bewehrung von 24 2,5 mm und 13 8,6 mm starken Drähten; der äußere Durchmesser dieses Kabels beträgt 50 mm.

Diese großen unterirdischen Linien haben sich in den mehr als 30 Jahren ihres Bestehens ausgezeichnet bewährt und sind im großen und ganzen in

[1]) Nach den Vorschriften des Internationalen Telegraphenvertrages (Londoner Revision 1903) sollten die für den internationalen Verkehr benutzten Leitungen höchstens 7,5 Ohm Leitungswiderstand für 1 km haben. Diese Vorschrift ist aber durch die Lissaboner Revision von 1908 gefallen, hiernach sollen die Leitungen „in elektrischer Hinsicht ausreichende Sicherheit bieten". — [2]) 1 S. E. = 0,9407 Ohm; 1 Ohm = 1,063 S. E. — [3]) Näheres s. Archiv für Post und Telegraphie, Berlin, 1877, Heft 4.

ihrer Beschaffenheit nicht wesentlich zurückgegangen. Abgesehen von den im Laufe der Zeit durch äußere mechanische und chemische Einflüsse entstandenen und wieder ausgebesserten Fehlerstellen haben diese Kabel tatsächliche Mängel nicht gezeigt, so daß man ihrem weiteren Bestande noch für längere Zeit mit Vertrauen entgegensehen kann. Zur Verlängerung der Lebensdauer dieser wichtigen Linien sind für den Betrieb noch einige wichtige Vorschriften gegeben worden. Bei den regelmäßigen Messungen der Kabel hat sich gezeigt, daß bei Verwendung der verschiedenen Pole der Meßbatterie auch verschiedene Isolationswerte ermittelt wurden, die Messungen mit dem Zinkpol ergaben einen erheblich geringeren Wert als diejenigen mit dem Kupferpol. Die Erklärung für diese Erscheinung ist wohl darin zu suchen, daß die Isolierfähigkeit der Guttapercha mit der Zeit teilweise etwas nachgelassen hat und in geringem Maße Feuchtigkeit eingetreten ist. Es entstehen dann durch den Meßstrom elektrolytische Prozesse [1]), die den Isolationswiderstand bei positiver Elektrisierung größer erscheinen lassen als bei negativer. Im ersteren Fall wird das Leitungskupfer oxydieren und sich dann mit einer nichtleitenden Schicht umgeben, im anderen Fall befreit der sich bildende Wasserstoff das Kupfer vom Oxyd, reinigt es also, so daß die Ableitung erhöht wird. Hieraus ist die Folgerung gezogen worden, daß im allgemeinen in diesen Kabeln möglichst nur mit positiven Batteriespannungen, die sogar Isolationsfehler für den Betrieb vorübergehend bessern können, gearbeitet werden soll. Es hat sich weiter gezeigt, daß bei Verwendung höherer Spannungen die unter Umständen an einzelnen Stellen durch irgendwelche Einflüsse bereits angegriffene Isolierhülle leicht durchschlagen werden kann — es gibt also für diese Kabel auch noch gewisse Spannungsgrenzen, über die für gewöhnlich nicht hinausgegangen werden soll.

Die großen unterirdischen Telegraphenlinien werden wegen ihrer außerordentlichen Wichtigkeit regelmäßig an jedem Freitagabend auf Isolation und Kapazität geprüft. Als unterste Grenze des ohne Bedenken für den Betrieb noch zuzulassenden Isolationswiderstandes ist für diese Kabel der Wert von 0,1 Megohm, für die ganze Länge gemessen, festgesetzt worden; bei weiterem Sinken der Isolation ist die nähere Fehlerortsbestimmung zur Ermittelung und Beseitigung des Fehlers vorgeschrieben.

Es soll hier noch kurz eine besondere Erscheinung erwähnt werden, welche mehrfach in diesen Kabeln beobachtet worden ist, nämlich die Bildung von kraterartigen Vertiefungen [2]) in der Guttaperchahülle. Solche Vorkommnisse rühren zweifellos von elektrischen Funken her, die zwischen zwei Kupferadern aufgetreten sind. Nach den vorgenommenen Ermittelungen sind zur Bildung solcher Funken drei Voraussetzungen erforderlich: es müssen sich Risse oder Löcher in der Isolation befinden, es muß Feuchtigkeit in die schadhafte Stelle eingedrungen sein, außerdem ist eine gewisse Höhe des Spannungsunterschiedes, etwa von 100 Volt ab — bei freiliegender Kupferoberfläche etwa 60 Volt — zwischen den schadhaften Kabeladern oder gegen Erde erforderlich. Derartige Erscheinungen können im Telegraphenbetriebe aber so lange nicht auftreten, als noch eine zusammenhängende, wenn auch sehr dünne Isolierschicht über den Adern vorhanden ist.

---

[1]) Zu vgl. Strecker, Hilfsbuch, S. 242. — [2]) Zu vgl. S. 53.

Außer diesen großen Linien sind seitens der R. T. V. Guttaperchakabel auch noch auf kürzeren Strecken in Städten, auf Bahnhöfen, durch Flüsse und Tunnels usw. verlegt worden. Nach den zurzeit gültigen Bedingungen werden für 1, 3, 4 und 7 Adern vier Typen Erd- und Röhrenkabel, sowie fünf Typen Flußkabel — für einadrige Kabel mit zwei Bewehrungsstärken — verwendet. Die Landkabel haben als Kupferleiter Litzendrähte von 0,66 mm Stärke und als Isolierung zwei Lagen Guttapercha mit einer Chattertonzwischenschicht. Die Litzendrähte der Flußkabel sollen dagegen 0,73 mm stark sein. Ihre Isolierung besteht aus drei Lagen Guttapercha und zwei Lagen Chatterton. Nicht mitgerechnet ist in beiden Fällen die unmittelbar über dem Kupferleiter aufgebrachte Chattertonschicht (s. S. 71). Der äußere Durchmesser der fertigen Adern beträgt 5,2 (Landkabel) und 7 mm (Flußkabel), der Leitungswiderstand höchstens 7 und 6,5 Ohm, die Höchstkapazität 0,24 und 0,22 Mf. Die Isolation [1]) soll mindestens 500 und 650 Megohm sein. In den drei- und mehradrigen Kabeln wird, wie bei den älteren Kabeln, eine Ader zu Zählzwecken mit einer Längswulst versehen. Die Zahl und Stärke der Bewehrungsdrähte richten sich nach dem Umfange und Zweck des Kabels; sie schwanken zwischen 8 und 13 Stück mit 2,6 bis 8,6 mm Durchmesser. Den stärksten Schutz haben die Flußkabel, doch wird deren Konstruktion von Fall zu Fall besonders bestimmt. Im Gegensatz zu den älteren Kabeln der großen Linien ist neuerdings für Guttaperchakabel neben den Rundeisendrähten auch die Bewehrung mit Façoneisendrähten zugelassen. Die Erd- und Flußkabel erhalten über den Bewehrungsdrähten zunächst eine Schicht Asphaltmasse, darauf folgt eine Bekleidung mit Jutehanf und danach wieder eine Asphaltschicht mit Kalkanstrich.

Es steht noch die Frage zur Erörterung, ob es zulässig sei, in Telegraphenkabellinien aus Guttaperchakabeln an Fehlerstellen usw. Stücke anderer Kabelarten einzuschalten. So weit es sich um die kurzen Stadtkabellinien handelt, sind Bedenken hiergegen nicht zu erheben; zum Teil sind im Bereich der R. T. V. derartige Kabel auch schon durch Faserstoffkabel verlängert und aufgeteilt worden. Anders verhält es sich aber mit den Kabeln der oben erwähnten großen unterirdischen Telegraphenlinien. Diese Linien bilden einen betriebstechnisch und strategisch zu wichtigen Bestandteil der Telegraphenanlagen, als daß in sie derartige schwache Stellen — und diese bilden stets die Übergangsstellen von Guttapercha- und Faserstoffkabeln — eingeschaltet werden dürften. Solche Einschaltungen werden daher nur in ganz besonderen Ausnahmefällen anzuwenden sein, z. B. wenn auf Brücken der Schutz der Guttaperchakabel gegen Wärme außergewöhnlich hohe Kosten erfordern würde. Zur Sicherstellung der Fehlereingrenzungen ist sogar darauf zu halten, daß in die einzelnen Kabel möglichst wieder Stücke von genau derselben Konstruktion eingespleißt werden.

Guttaperchakabel sind für Telegraphenzwecke namentlich auch in Frankreich [2]) im Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts in umfang-

[1]) Über die Bewertung besonders hoher Isolation in Guttaperchakabeln s. Baur, S. 329. — [2]) Nach Bazille, Types de câbles employés en France, Vortrag auf dem Internationalen Kongreß der Telegraphentechniker in Budapest, 1908; ferner E. Montoriol, Appareil Hughes et les lignes souterraines, Paris 1904, III. Abschnitt.

reichem Maße für die Verbindung der wichtigsten Handels- und Verkehrsplätze verlegt worden. Diese Kabel haben drei Litzenadern von 0,6, 0,7 und 0,87 mm Durchmesser und 9,10, 5,63 und 4,33 Ohm Leitungswiderstand. Die Leiter sind mit zwei oder drei Lagen Guttapercha umpreßt und haben eine Kapazität von 0,24 Mf. Ebenso besitzt Österreich[1]) zahlreiche Guttaperchakabel bis zu 14 Adern mit Litzendrähten von 7 Ohm Widerstand und zwei Guttaperchaschichten; als höchstzulässige Kapazität sind dort 0,25 Mf festgesetzt. Auch in England[2]) ist eine große Anzahl von Guttaperchakabeln verlegt worden.

Guttaperchakabel werden auch mit Bleimantel konstruiert, jedoch ist die Anwendung solcher Kabel im allgemeinen sehr beschränkt geblieben. Bei der R. T. V. sind sie in der Hauptsache nur als geringadrige Kabel mit massivem Kupferleiter von 1 und 1,5 mm Durchmesser für Zimmerleitungszwecke verwendet worden. Diese Adern sind in der Regel mit Jutefäden umsponnen und werden in mehradrigen Kabeln wieder mit Jutebeilauf verseilt. Die Schwierigkeit der Fabrikation liegt in der hohen Empfindlichkeit des Isolierstoffes gegen Wärme. Es ist daher zweckmäßig mit kalter Bleipressung (s. S. 36) zu arbeiten, doch werden solche bleiarmierte Guttaperchakabel recht teuer, da das Verfahren weniger wirtschaftlich ist. Derartige Kabel werden seitens der R. T. V. nur in ganz besonderen Ausnahmefällen angewendet, z. B. bei ungünstigen Erdbodenverhältnissen, wenn das Vorhandensein chemisch angreifender Substanzen einen besonderen Schutz der Guttaperchakabel erfordert.

Von wesentlicher Bedeutung ist die Lagerung der Vorratsbestände von Guttaperchakabeln. Es ist nicht nur erforderlich, sie solchen Temperaturen zu entziehen, bei denen Guttapercha zu erweichen beginnt (etwas über 30° C), sondern es müssen auch plötzliche und häufige Temperaturänderungen, auch schon in geringen Unterschieden, vermieden werden, da infolge der verschiedenen Ausdehnung des Kupfers und der Isolierhülle unter Umständen eine Lockerung des innigen Zusammenhanges zwischen beiden entstehen und auch sonst geringfügige Fabrikationsmängel im Material sich zu wirklichen Fehlern entwickeln können. Ebenso ist auch ein häufiger Wechsel zwischen Feuchtigkeit und Trockenheit zu vermeiden. Der atmosphärische Sauerstoff wirkt allmählich zerstörend auf die Guttapercha ein, Zement und Leuchtgas sind ihre besonderen Feinde[3]). Die Unterbringung der Kabel muß also so erfolgen, daß die vorstehend bezeichneten möglichen Schädigungen nicht eintreten können. Zu diesem Zweck sind am besten mit Wasser angefüllte Behälter geeignet, die Kabel sind hier jederzeit zugänglich

---

[1]) Zu vgl. Zeitschrift für Post und Telegraphie, Wien 1902, S. 100. — [2]) In dem mehrfach erwähnten pocket-book von Munro and Jamieson sind auf S. 343 bis 355 auch sonst allgemein gültige Hinweise über Guttaperchakabel vorhanden. Es sind daselbst Angaben enthalten über Guttaperchagewicht für eine Seemeile Kabel nach den Durchmessern von Guttapercha und Kupfer, über den Durchmesser der Guttaperchaadern nach den Gewichten, Abhängigkeit des Isolationswiderstandes von Temperatur und Druck, Zusammenhang zwischen Isolation und Kapazität, Verhältnis der Durchmesser zu den Gewichten, Kapazität für die Längeneinheit usw. — [3]) Näheres im Abschnitt VI bei „Verlegung von Erdkabeln"; ferner auf S. 52.

und sicher gelagert. Die hohen Kosten solcher gemauerter Brunnen [1]) oder Kabeltanks werden jedenfalls durch ihre großen Vorzüge mehr als aufgewogen. Für kleinere, wenig in Anspruch genommene Mengen wird auch die Eingrabung in gewachsenen reinen Erdboden — in mindestens 1 m Tiefe — in Betracht kommen können.

Faserstofftelegraphenkabel.

Wenn trotz der günstigen Erfahrungen mit den Guttaperchakabeln die R. T. V. nach verschiedenen Versuchen im Jahre 1895 dazu übergegangen ist, noch andere Kabel für den Telegraphenbetrieb einzuführen, so sind dafür weniger technische, als vielmehr wirtschaftliche Rücksichten ausschlaggebend gewesen. Es handelte sich allerdings nicht um lange Überlandlinien, sondern nur um Stadtkabel und sonstige kürzere Verbindungsstrecken. Mit der wachsenden Verdichtung des Telegraphenleitungsnetzes mußten nämlich nicht nur der Zahl nach mehr, sondern auch stärkere Kabel verlegt werden. Um die dadurch entstehenden Kosten auszugleichen, wurde auf die Beschaffung billigerer Kabel Bedacht genommen, doch durfte die Herabminderung der Kosten natürlich nicht durch Minderwertigkeit des Materials oder durch geringere Sorgfalt bei der Fabrikation erkauft werden. Ein Vorbild boten die unterirdischen Fernsprech- und Starkstromanlagen, bei denen seit Jahren Kabel angewendet wurden, deren Leiter mit irgend einem getränkten Faserstoff isoliert und mit einem Bleimantel geschützt waren.

Als Faserstoff findet vorwiegend Jute Verwendung. Diese ist die gereinigte und getrocknete Bastfaser einer Reihe von Pflanzen des südlichen Asiens aus der Familie der Tiliaceen. Sie kommt in etwa sechs verschiedenen Qualitäten von brauner Farbe auf den Markt; je heller, desto besser ist im allgemeinen die Ware. Für Kabel wird meistens eine gute Mittelsorte gewählt. Das Garn [2]) soll gleichmäßig dick und nicht zu stark gedreht sein, muß aber kräftig genug gesponnen werden, um bei der Kabelfabrikation den Zug der Maschinen auszuhalten. Da jegliche getrocknete Pflanzenfaser sehr hygroskopisch ist, so muß das Garn nach seiner Aufbringung auf die Leitungsadern noch gut getränkt werden. Hierdurch steigert man die elektrische Festigkeit, die bei den Faserstoffen nur sehr gering ist, und setzt das Aufnahmevermögen für Wasser wesentlich herab.

In bezug auf Dauerhaftigkeit sind die Faserstoffkabel bei zweckmäßiger Konstruktion den Guttaperchakabeln gleichwertig. Der Vorzug der Faserstoffkabel liegt neben dem erheblich niedrigeren Preise namentlich darin, daß sie bei gleicher Adernzahl und Isolationsfähigkeit einen bedeutend geringeren Querschnitt haben, so daß sich eine große Anzahl von Leitungen in einem Kabel zusammenfassen läßt, ohne daß die Handlichkeit verloren geht. Eine weitere Folgerung daraus ist der geringere Raumbedarf in den Kabelkanälen. Es fällt ferner ins Gewicht, daß diese Kabel wegen ihrer Beständigkeit gegenüber dem atmosphärischen Sauerstoff und ihrer Unempfindlichkeit gegenüber den Temperaturänderungen nicht so tief eingegraben zu werden brauchen; dieses bringt wiederum eine Ersparnis mit sich. Andererseits ist jedoch da-

---

[1]) Näheres s. Archiv für Post und Telegraphie, Berlin 1895, Heft 15. — [2]) Zu vgl. auch Coyle and Howe, S. 121.

mit zu rechnen, daß eine Beschädigung der äußeren Kabelhülle nicht nur die Störung einer, sondern unter Umständen aller Adern zur Folge haben kann, da das Isoliermaterial trotz seiner Tränkung noch recht hygroskopisch bleibt.

Die Faserstoffkabel werden als Erd-, Röhren- und Flußkabel konstruiert. Sie sind, wie auf S. 75 bereits erwähnt, zuweilen auch als Verlängerung vorhandener Guttaperchakabel benutzt worden. Die elektrischen Anforderungen an die neuen Kabel sind jetzt bei der R. T. V. hinsichtlich der Isolation und Kapazität wie für die Guttaperchakabel mit 500 Megohm und 0,24 Mf für 1 km bei 15° C festgesetzt. Hinsichtlich der Leiter selbst ist die Litzenform verlassen, weil sich der massive Draht leichter behandeln läßt und widerstandsfähiger ist, und da bei der Art der gewählten Isolierung kein besonderer Wert darauf gelegt zu werden braucht, daß der Leiter besonders biegsam sei. Als Grenze für den Leitungswiderstand der 1,5 mm starken Adern (1,767 qmm Querschnitt) sind 10 Ohm für 1 km bestimmt worden; dieses entspricht ungefähr dem Widerstande eines 4 mm starken Eisendrahtes.

Die Aufbringung der Jutefäden auf den blanken Leiter erfolgt in einfacher Weise nach den durch Abb. 1 und 5 schematisch dargestellten Verfahren. Mehrere Spulen werden leicht drehbar auf den Spinnläufer gesetzt, die Enden der Fäden an dem Kupferdraht befestigt und durch Umlaufen des Spulentellers um den mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fortlaufenden Leiter gewickelt. Der Gang der Maschine muß so geregelt sein, daß die Fäden vollständig dicht aneinander gelagert werden und einen gleichmäßig dicken Überzug bilden. Die Fäden müssen so fest liegen, daß sie nicht verschoben werden können, sie sollen ferner einen möglichst kurzen Drall haben, damit sich bei der weiteren Verarbeitung des Kabels keine Stauungen bilden. Die Fäden sollen schließlich auch in zwei entgegengesetzt gerichteten Lagen aufgebracht sein, da sich eine einzelne Lage leicht öffnet und dadurch zu Isolationsfehlern und Berührungen Anlaß geben kann. Die Jutegarne werden nach Nummern bezeichnet und je nach der gewünschten Dicke der Isolierschicht und der Zahl der Lagen entsprechend ausgewählt. Es ist jedoch nicht zweckmäßig, die Schicht besonders dünn zu bemessen, denn die Materialersparnis ist nicht erheblich. Sie würde aber andererseits das Kabel weniger fest gegen mechanische Beschädigungen machen, die bei der weiteren Fabrikation, dem Transport und der Verlegung entstehen können.

Für die neuen Kabel wurde seitens der R. T. V. von vornherein keine einheitliche Konstruktion vorgeschrieben, vielmehr sind entsprechend der Zahl der zuerst an den Lieferungen beteiligten Kabelfirmen drei verschiedene Kabeltypen angenommen worden. Zwei davon haben Isolierung aus Fasergespinst und weichen auch nur in unwesentlichen Teilen voneinander ab, bei der dritten Art dagegen ist die Leitungsader mit getränkten Papierbändern — ohne Lufthohlraum — fest umpreßt. Die Zahl der Adern eines Kabels betrug ursprünglich 4, 7 oder 14, später sind auch 28, 56 und 112 adrige Kabel konstruiert worden; neuerdings wird jedoch auch bei diesen Kabeln, wie bei den Fernsprechkabeln, die dekadische Einteilung mit 5, 10, 20, 25, 50 usf. Adern angewendet.

Abb. 18 zeigt den Querschnitt eines 7 adrigen Erdkabels mit Faserstoffisolierung. Die Konstruktion im einzelnen ist aus den beistehenden An-

Abb. 18.

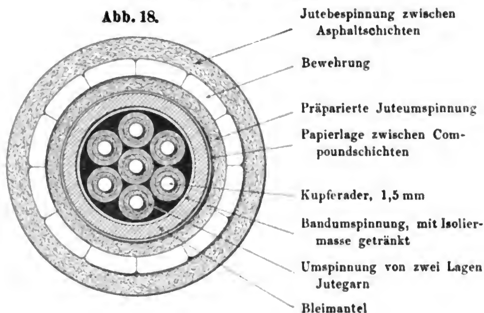


Abb. 19.

Kupferadern, 1,5 mm (4 innere)

Isolierung durch zwei Papierstreifen und dazwischen liegendes Baumwollenband

Papierumwickelung

Kupferadern, 1,5 mm (10 äußere) Isolierung wie oben

Umhüllung von vier Papierbändern und einem Baumwollenband

Bleimantel

Bewickelung von präpariertem Band

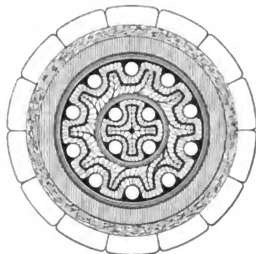
Bewehrung aus doppeltem Stahlband

Compoundschicht

gaben zu ersehen. In jeder Lage wird zur Sicherstellung der Zählweise eine Ader besonders gekennzeichnet. Dieses geschieht in der Regel durch Verzinnung, doch sind auch farbige Bandumspinnungen üblich. Die als Bewehrung verwendeten Stahlbänder sollen nach den Lieferungsbedingungen der R. T. V. im allgemeinen mindestens 1,0 mm, bei 100- und mehradrigen Kabeln dagegen mindestens 1,7 mm stark sein. Die Stärke der Flacheisendrähte ist für Kabel bis zu fünf Adern mit 1,4 mm, für höheradrige auf 1,7 mm festgesetzt. Für Flußkabel ist Stahlbandbewehrung überhaupt nicht zugelassen. **Abb. 19** zeigt eine andere Konstruktion eines 14 adrigen Erdkabels mit doppeltem Stahlbandschutz.

Charakteristisch verschieden von diesen Faserstoffkabeln ist die dritte Type mit Papierisolation, wie sie **Abb. 20** im Querschnitt zeigt. Die Isolierung der Leitungen erfolgt hier durch zwei Papierstreifen, die mit einem Baumwollbande auf besondere Weise gefaltet sind. Die Adern werden verseilt und dabei mit vier imprägnierten Papierbändern und einem ebensolchen Baumwollbande umgeben. Die so gebildete Kabelseele wird dann mit dem Bleimantel umpreßt. Die Erdkabel erhalten darüber noch eine Bandbewickelung und die Bewehrung. Diese Konstruktion hat jedoch bei Anfertigung der Lötstellen und Endverschlüsse Schwierigkeiten bereitet und wird daher jetzt nicht mehr verwendet.

Abb. 20.



Die zurzeit gültigen Vertragsbedingungen der R. T. V. für Telegraphenfaserstoffkabel entsprechen im allgemeinen der Ausführung nach Abb. 19. Für Erdkabel sind Flacheisendrähte und Stahlbänder zugelassen. Allerdings verwenden nicht sämtliche Fabriken reinen Faserstoff, vielmehr wird teilweise eine kombinierte Jute- und Papierumspinnung, teilweise sogar nur fest umgepreßte Papierisolation verwendet. Die Flußkabel erhalten, je nach den örtlichen Verhältnissen, eine verstärkte Armatur.

Die Bewickelung der eigentlichen Kabelseele unterhalb des Bleimantels soll jetzt durchgängig mit zwei Lagen Papier und einer Lage Band erfolgen. Dieser verstärkte Schutz gegen atmosphärische Entladungen hat sich gut bewährt. In Kabeln können nämlich bei unmittelbarer Einwirkung von Gewitterwolken oder infolge Entladung atmosphärischer Elektrizität Spannungsverteilungen entstehen, gegen welche die an den Enden eingeschalteten Blitzableiter keinen genügenden Schutz gewähren. Dabei wird ein Spannungsausgleich seltener zwischen den Adern, als zwischen einer Ader und dem Bleimantel erfolgen, weil zwischen den Adern, die meist denselben Verhältnissen unterliegen, erhebliche Spannungsunterschiede nicht oft auftreten, während der Bleimantel an den elektrischen Vorgängen im umgebenden Erdreich teilnimmt und dadurch leicht eine andere Spannung als die Adern erhalten kann. Der Umstand, daß Durchschläge weniger häufig in Fernsprechkabeln beobachtet werden, läßt sich dadurch erklären, daß sich in deren

meist ungeerdeten Adern keine größeren Elektrizitätsmengen ansammeln können. Bei den einzeladrigen Telegraphenkabeln wird dagegen eine Vergrößerung des Abstandes zwischen den äußeren Adern und dem Bleimantel die Anzahl der durch Spannungsausgleich verursachten Beschädigungen wesentlich verringern können.

Die Fabrikation der Faserstoffkabel ist, kurz zusammengefaßt, folgende: Zunächst wird das Isoliermaterial in Spinn- oder Wickelmaschinen auf die blanken Drähte gebracht, die alsdann in Verseilmaschinen mit den Bedeckungsschichten zu der Kabelseele zusammengefaßt werden. Dieses Kabelseil wird in einem Trockenofen gehörig getrocknet und darauf in das Isoliermassebad gebracht (zu vgl. Abschnitt I). Nach genügender Tränkung mit dieser Masse wird ein Bleimantel — von 1,2 bis 2 mm Stärke — um die Kabelseele gepreßt. Bei Erd- und Flußkabeln erfolgt dann noch als äußerer Schutz die Aufbringung der Eisenarmatur. Außerdem erhalten neuerdings sämtliche Kabel der R. T. V. unterhalb der Papier- und Baumwollbänder einen farbigen Kennfaden zur Bezeichnung der liefernden Firma.

Telegraphenkabel mit Gespinstisolation sind in größerem Umfange auch bei der österreichischen Verwaltung[1]) im Gebrauch, jedoch nur in zwei Typen mit 7 und 14 Adern, deren Leiter, wie bei den Guttaperchakabeln, aus sieben miteinander verseilten Kupferdrähten von 0,7 mm Stärke bestehen. Diese Litzen sind bis zu einem Durchmesser von 4,5 mm mit abwechselnden Lagen von Jute und Papier isoliert; im übrigen ist die Konstruktion ähnlich wie oben angegeben. Die elektrischen Anforderungen sind 7 Ohm Leitungswiderstand und 0,23 Mf Kapazität als Höchstgrenzen für 1 km. Auch Kabel mit fest aufgepreßter Papierisolation sind in Österreich bis zu 37 Adern zur Verlegung gekommen. Bei ihnen besteht der Kupferleiter aus massivem Draht von 1 mm Stärke, welcher mit getränktem Papier und darüber mit Baumwollgarn umwickelt ist. Der Leitungswiderstand soll höchstens 25 Ohm betragen.

Papiertelegraphenkabel[2]).

Neben den Kabeln mit Guttapercha- und Faserstoffisolation, einschließlich gepreßten und imprägnierten Papiers, sind für telegraphische Zwecke mehr und mehr auch Kabel mit Luftraum- und Papierisolierung allgemeiner eingeführt worden. Hierbei muß bemerkt werden, daß der Übergang vom Guttapercha- zum Papierluftraumkabel bei den meisten Verwaltungen unmittelbar, also ohne die Zwischenstufe der Faserstoffkabel, gemacht worden ist.

Die Ursachen zum Aufgeben der Guttapercha als Isoliermaterial für Land- und Flußkabel liegen, wie schon auf S. 72 u. 77 angedeutet ist, in der Hauptsache in dem steigenden Preise und ferner in der Schwierigkeit der Beschaffung einer wirklich guten Guttapercha. Außerdem kommt in Betracht, daß die hohe Kapazität der Guttaperchakabel die volle Ausnutzung

[1]) Zu vgl. Zeitschrift für Post und Telegraphie, Wien 1902, S. 100. — [2]) Es handelt sich in diesem Kapitel nur um Hohlraumpapierkabel, nicht um Kabel mit fest umpreßtem und getränktem Papier; diese sind zu den Faserstoffkabeln gerechnet worden.

der neueren Betriebsweisen mit Schnell- und Vielfachtelegraphen nicht genügend zuläßt.

Faserstofftelegraphenkabel sind, soweit bekannt geworden, für größere Entfernungen überhaupt nicht verwendet worden. Aber schon in Stadtkabelnetzen haben sich in solchen Kabeln manche Betriebsschwierigkeiten recht empfindlich bemerkbar gemacht, und das um so mehr, je länger die Kabel waren. So ist es z. B. in Berlin erforderlich geworden, wegen der starken Seiteninduktion [1]) der Faserstoffkabel die auf einer längeren Strecke in demselben Stadtkabel verlaufenden und mit hoher Spannung betriebenen Leitungen in andere Kabel mit noch freien Adern umzuschalten. Auch die Höhe der Kapazität hat eine merkliche Einwirkung auf die Stärke der Induktion. Wenngleich ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Kapazität und Induktion noch nicht nachgewiesen ist, so kann doch im allgemeinen festgehalten werden, daß eine Abnahme der Kapazität auch eine Verminderung der Induktion zur Folge hat.

Es mußte jedenfalls dahin gestrebt werden, ein Kabel zu konstruieren, welches eine störende Seiteninduktion nicht mehr besitzt. Hierzu sind zwei Wege gegeben, die nebeneinander beschritten werden müssen: Zunächst wird eine Verminderung der Kapazität zu erstreben sein. Zweitens kann man durch geeignete Vorkehrungen erreichen, daß die durch den Betrieb verursachte Seiteninduktion ziemlich unschädlich gemacht wird; die Länge des Kabels und die Spannung der Betriebsbatterien werden sich allerdings nicht verändern lassen.

Bekanntlich ist der Einfluß der Induktion am Anfang eines Telegraphenkabels weitaus am größten. Es wird sich jedoch nicht empfehlen, etwa nur für die erste Kabelstrecke induktionssichere Kabel zu wählen und im übrigen andere Kabel einzuschalten, da hierdurch unerwünschte Verschiedenheiten in die Kabelleitungen hineinkommen würden.

Das gegebene Material für betriebsbrauchbare und zugleich verhältnismäßig billige Telegraphenkabel ist das Papier, mit dem der Leiter lose umsponnen wird, so daß ein Luftraum entsteht; solche Kabel besitzen eine ganz bedeutend geringere Kapazität als andere. Zur Beseitigung der immerhin auch in diesen Kabeln noch vorhandenen Induktion bieten sich in der Praxis zwei Mittel [2]), die beide auch bei der Fernsprechkabelkonstruktion angewendet worden sind: Das erste Mittel ist die Anbringung metallischer Hüllen. Der zweite Weg besteht in der Verwendung und zweckmäßigen Gruppierung von Doppelleitungen. Durch Verdrillung der Drähte zu Paaren wird die Induktionswirkung des einen Drahtes durch den entgegengesetzten Effekt des zweiten Drahtes aufgehoben, während keine Wirkung auf eine verdrillte Schleife ausgeübt werden kann.

Es sollen zunächst einige Kabeltypen näher besprochen werden, die seitens der R. T. V. verlegt und praktisch im Betriebe erprobt worden sind.

Das erste in Auftrag gegebene Papiertelegraphenkabel ist im Jahre 1906 von der Firma Siemens u. Halske nach Angaben der R. T. V. konstruiert

[1]) Näheres bei Breisig, Theoretische Telegraphie, im III. Teil, 5. Abschnitt. — [2]) Hierzu sind zu vgl. die entsprechenden Erörterungen bei Besprechung der Fernsprechkabel, S. 90 u. 92; die Schutzhüllen bringen aber wieder höhere Kapazität.

und dann an der Wannseebahn zwischen Berlin und Kohlhasenbrück als Teilstrecke der Telegraphenlinie nach Potsdam [1]) auf rund 23 km Länge verlegt worden. Da eigene Erfahrungen über eine zweckmäßige Konstruktion solcher Kabel nicht vorlagen, so wurde für das im ganzen 50 Betriebsadern starke Kabel, das als Versuchskabel dienen sollte, nicht eine einheitliche Aderntype gewählt, sondern es wurden, unter Berücksichtigung namentlich in England gemachter Beobachtungen, fünf verschiedene Anordnungen hineingebracht, um diese miteinander vergleichen zu können. Die Konstruktion des Kabels ist nach Mitteilung der Firma im einzelnen folgende:

a) 36 Einzeladern mit massivem Kupferleiter von 1,5 mm Stärke, mit Papierisolation und nicht isolierter Stanniolbandbewickelung.

b) 8 Einzeladern mit massivem Kupferleiter von 2 mm Stärke, mit Papierisolation und nicht isolierter, etwa 0,07 mm dicker Kupferbandbespinnung.

c) 2 Einzeladern mit massivem Kupferleiter von 1,5 mm Stärke, mit Papierisolation und durch Papier isoliertem Kupferband von 0,07 mm Stärke.

d) 2 Einzeladern mit massivem Kupferleiter von 1,5 mm Stärke, mit Papierisolation und isoliertem Kupferbande, dessen Widerstand annähernd demjenigen des Kupferleiters gleichkommt.

e) 2 Doppeladern mit massivem Kupferleiter, mit Papierisolation und nicht isoliertem Kupferbande; der Widerstand des Kupferleiters einer Einzelader ist so bemessen, daß der Gesamtwiderstand einer Doppelader dem Widerstand einer Einzelader mit 2 mm starkem Kupferleiter gleichkommt.

Die Adern zu c) und d) sind konzentrische Adern, d. h. sie sind mit Rückleitungsdrähten versehen. Die massiven Kupferleiter sind einzeln mit zwei Lagen trockenem, ungetränktem Papier hohl umsponnen; letzteres ist besonders wichtig, da eine Imprägnierung höhere Kapazität und damit stärkere Induktion mit sich bringen würde. Die elektrischen Werte dieses Kabels sind für 1 km und 15° C folgendermaßen festgesetzt:

Leitungswiderstand höchstens 10 und 5,6 Ohm für die 1,5- und 2 mm-Leiter;

Isolationswiderstand mindestens 500 Megohm;

Kapazität der Einzelader 0,14 und 0,23 Mf; für die Doppelleitung ist sie nicht vorgeschrieben.

Sämtliche Adern sind zu der eigentlichen Kabelseele, deren Anordnung **Abb. 21** schematisch — aber stark vergrößert — zeigt, verseilt. Das Kabel ist mit einem Bleimantel fest umpreßt, so daß sich die nicht isolierten Stanniol- und Kupferbandbewickelungen der Adern sowohl untereinander, als auch mit dem Bleimantel in inniger metallischer Verbindung befinden. Die äußere Schutzhülle des auf einer Teilstrecke der Kabellinie verlegten Erdkabels besteht aus einer zwischen zwei Compoundschichten gebetteten Papierlage, einer imprägnierten Jutebespinnung und einer Armatur aus verzinkten Flacheisendrähten von trapezförmigem Querschnitt und 1,7 mm Stärke; diese sind noch von einer zwischen zwei Asphaltschichten gebetteten Jutelage umgeben. Der äußere Durchmesser des fertigen Erdkabels beträgt 48 mm, der Durchmesser über dem Bleimantel 37 mm.

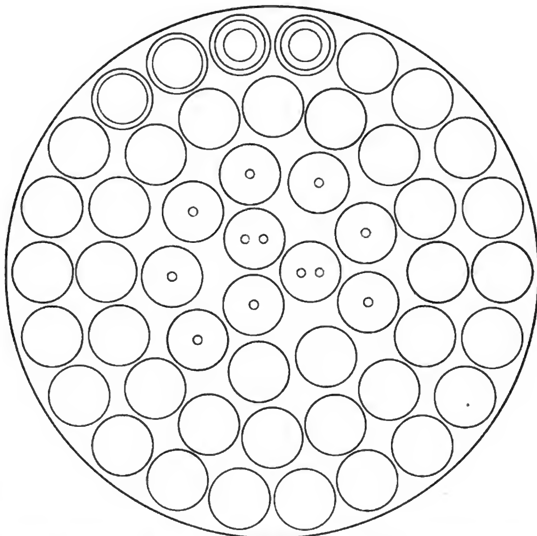
---

[1]) Das Kabel wurde später um einige km bis Potsdam verlängert.

An dem Kabel vorgenommene Messungen und Versuche haben zu folgenden, für die Konstruktion neuer Kabel wichtigen **Ergebnissen** geführt:

Zunächst ist festgestellt worden, daß bei den sonstigen günstigen Eigenschaften des Kabels auf solchen kürzeren Entfernungen schon durch die Herabminderung der Kapazität eine ausreichende Induktionsfreiheit erzielt werden kann, doch ist diese in den Adern mit geerdeten Hüllen besser. Hiernach wird es sich nicht empfehlen, auf größere Strecken Kabel ohne geerdete Schutzhüllen zu verlegen. Außerdem kommt in Betracht, daß der Wider-

Abb. 21.



○ Ader nach Konstruktion a ◯ Ader nach Konstruktion c ⊙⊙ Ader nach Konstruktion e
⊙ „ „ „ b ◎ „ „ „ d

stand der geerdeten Schutzhüllen, die alle zusammen ein gemeinsames Ganzes bilden, mit der Entfernung vom Amt verhältnismäßig langsamer wächst, als der Widerstand der Leiter. Es werden also die Hüllen für den entfernteren Teil des Kabels einen größeren Schutz bilden als für den Anfang. Voraussetzung ist dabei beste Erdung, da der Schutz gegen Induktion mit der Abnahme des Widerstandes der Hüllen gegen Erde zunimmt. Für den Betrieb ist es aber ziemlich gleichgültig, ob die Hülle aus Kupfer oder Stanniol besteht. Mit Rücksicht auf den höheren Preis des Kupfers wird daher das Zinnband zu bevorzugen sein; es muß aber dann besonders sorgfältig für

guten Zusammenhang des Bandes gesorgt sein [1]). Die durch die Konstruktion herbeigeführte Berührung zwischen den Hüllen und dem Bleimantel hat sich bewährt, da die Erdleitung dadurch besser gewährleistet wird.

Das beste Betriebsergebnis haben die Adern mit isolierter Hülle ergeben, wenn letztere als Rückleitung verwendet wurde, doch ist diese Schaltung für die gewöhnlichen Betriebsverhältnisse nicht erforderlich. Gegen derartige konzentrische Kabelleitungen sprechen andererseits auch manche Bedenken. Der Abschluß des Kupferbandes im Amte zur Verbindung mit den Klemmen ist umständlicher, ferner ist es wenig erwünscht, daß ein Teil der Betriebserdleitungen sich weit vom Amte befindet und nicht unmittelbar beaufsichtigt werden kann. Das Kupferband muß auf gleiche Länge genau gleichen Widerstand haben, da unter Umständen Fehlerstellen sonst nicht richtig durch Messung eingegrenzt werden können. Die Bänder müssen sehr sorgfältig isoliert sein, damit nicht durch etwaige Berührungen der Übergang störender Ströme von einer Leitung in die andere ermöglicht wird. Sind trotz aller Maßnahmen noch Induktionsstörungen vorhanden, so sind bei empfindlichen Apparatsystemen besser Doppelleitungen zu verwenden.

Die guten Ergebnisse mit dem Kohlhasenbrücker Kabel haben die R. T. V. veranlaßt, Papiertelegraphenkabel auch auf anderen Strecken verlegen zu lassen. Das im Jahre 1909 zwischen Düsseldorf und Duisburg auf rund 25 km eingeschaltete Kabel scheint den für den Telegraphenbetrieb notwendigen Erfordernissen gut zu entsprechen, soweit Erfahrungen für kürzere Strecken vorliegen. Das Kabel ist von der Firma Felten u. Guilleaume-Lahmeyerwerke, Mülheim (Rhein), für die R. T. V. gebaut worden. Es enthält 50 Adern, von denen 15 von 2 mm und 35 von 1,5 mm Stärke sind. Jede Ader ist mit drei Lagen Papier hohl umsponnen, der äußere Durchmesser beträgt 4 und 3,5 mm. Die einzelnen Adern sind mit Stanniolhüllen versehen, außerdem ist die ganze Kabelseele noch mit einem breiten, 0,2 mm starken Kupferband derart bewickelt, daß sich die Stanniolhüllen der Adern sowohl untereinander, als auch mit dem Kupferbande und letzteres wieder mit dem Bleimantel in inniger metallischer Verbindung befinden. Das Kupferband hat lediglich den Zweck, eine gute Erdverbindung zu sichern und kleine Fehlerstellen in der Schutzumhüllung der äußeren Adern — wie sie z. B. bei der Fabrikation entstehen können — auszugleichen. Abweichend von dem sonstigen Brauch sind bei diesem Kabel — wie bereits früher (S. 43) angedeutet ist — die Bewehrungsdrähte ohne Polster unmittelbar auf den Bleimantel gelegt, sie haben auch nicht die sonst übliche äußere Schutzbedeckung — beides ist zur Verbesserung der Erdableitung geschehen. Die ganze Schutzbewehrung des 42 mm starken Kabels bildet also mit dem Kupferbande und den Stanniolhüllen eine einzige große zusammenhängende Erdplatte. Um bei Hinzutritt von Feuchtigkeit elektrolytische Vorgänge zwischen Eisen und Blei zu verhüten, sind die Bewehrungsdrähte verbleit worden. Diese Art der Bewehrung hat sich in der Praxis gut bewährt, sie gibt eine längs des ganzen Kabels verteilte ausgezeichnete Erdverbindung, wie sie bei

[1]) Es soll hierbei besonders darauf hingewiesen werden, daß diese Folgerung lediglich auf Grund der bisherigen Versuche der R. T. V. gezogen ist, und daß z. B. in England, mit seinem außerordentlich umfangreichen Telegraphenkabelnetz, ausschließlich die Kupferbandbespinnung gewählt wird.

Zwischenlagen von Jute usw. in so vorzüglicher Weise nicht erzielt werden kann. Mechanische Beschädigungen des Bleimantels durch die Bewehrungsdrähte sind nicht wahrgenommen worden. Die elektrischen Anforderungen an dieses Kabel sind: für die 1,5 und 2 mm Adern 10 und 5,6 Ohm Leitungswiderstand [1]), 0,13 und 0,15 Mf Kapazität und 500 Megohm Isolation. In diesem Kabel ist nach den bisherigen Betriebserfahrungen die Induktionsfreiheit praktisch erreicht, — die Stärke der Induktion verhält sich im Vergleich zu oberirdischen Leitungen wie 12 : 10, sie ist also beinahe gleich —, doch ist durch Messungen noch festgestellt worden, daß allgemein die stärkeren Adern einer etwas dickeren Schutzhülle bedürfen, um die Induktionsfreiheit der schwächeren Adern zu erreichen.

Ein ähnliches Kabel ist kürzlich in Köln verlegt worden. Der Unterschied gegen das Düsseldorfer Kabel besteht in der Hauptsache darin, daß zur Ermäßigung der Kosten, an Stelle der Umlegung eines Kupferbandes, die Kabeladern unter Beifügung einer größeren Anzahl von blanken Kupferdrähten von 0,9 mm Durchmesser verseilt worden sind. Diese Drähte sind wie die Leitungsadern und die Stanniolhüllen der isolierten Adern auf der ganzen Länge des Kabels sorgfältig miteinander verbunden. Sie bilden durch ihre Berührung untereinander, mit den Zinnfoliebändern und dem 2,5 mm starken Bleimantel, sowie dessen verbleiten Bewehrungsdrähten die Erdableitung des Kabels. Das Kabel enthält 10 Leitungen von 2 mm und 40 von 1,5 mm Durchmesser. Die gegen das obige Kabel abweichenden elektrischen Eigenschaften sind 0,12 und 0,09 Mf Kapazität.

Eine dritte Art Papierkabel für Telegraphenzwecke ist Ende 1909 in Berlin als kurzes Stadtkabel verlegt worden, dessen 56 Kupferleiter 1,5 mm stark und ohne jeden Metallschirm lediglich mit zwei Lagen Papier hohl umsponnen sind. Das Kabel ist von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, geliefert worden. Diese Konstruktion beruht auf den Erfahrungen mit dem Kohlhasenbrücker Kabel, wonach auf kurze Entfernungen ein besonderer Induktionsschutz nicht erforderlich wird. Das Kabel ist zum Teil als blankes Bleikabel und zum Teil als bewehrtes Röhrenkabel (mit Jute- und Papierpolster) mit Flacheisendrahtarmierung hergestellt. Der äußere Durchmesser über dem Bleimantel beträgt 37 mm. Der Bleimantel selbst ist 2,4 bzw. 2,5 mm stark. Die elektrischen Anforderungen an dieses Kabel sind für 1 km und 15° C: 10 Ohm Leitungswiderstand, 500 Megohm Isolationswiderstand und 0,069 Mf Kapazität.

Nach den vorgenommenen Messungen verhält sich in diesem letzten Kabel die Induktion im Vergleich zu oberirdischen Leitungen etwa wie 15 : 10. Da aber in dem neuen Berliner Kabel praktisch vollständig ausreichende Induktionsfreiheit erzielt worden ist, auch in ihm die Lötstellen erheblich einfacher und billiger herzustellen sind, so wird — nach den bisherigen Erfahrungen — dieses Kabel für kürzere Strecken zu bevorzugen sein.

Die englische Telegraphenverwaltung [2]) ist Ende des vorigen Jahrhunderts dazu übergegangen, für den Telegraphenbetrieb auch auf große Ent-

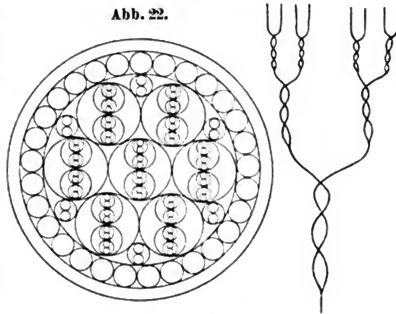
[1]) Wegen der Verwendung von Kabeladern für internationale Leitungen zu vgl. Anm. 1 auf S. 73. — [2]) Zu vgl.: a) Die Ausführungen von Tremain, Electrician, London, Bd. LXI, S. 62; b) Vortrag von O'Meara auf dem Internationalen Kongreß der Telegraphentechniker in Budapest, 1908; c) Blätter für Post und Telegraphie, Berlin, IV. Jahrgang, S. 107 und I. Jahrgang, S. 373; d) E. T. Z., Berlin 1908, S. 739; e) Coyle and Howe, S. 158; f) Herbert, Telegraphy, S. 759 ff.

fernungen durch das ganze Königreich Papierkabel zu verlegen, deren Einzeladern Kupferbandumhüllung erhalten. Der Durchmesser der Kupferleiter der verschiedenen Kabel schwankt zwischen 0,63 und 2,87 mm, die Papierstärke zwischen 0,08 und 0,25 mm. Die Stärke des Kupferbandes beträgt 0,076 mm, seine Breite 7,62 mm. Bei den kleineren Typen ist das Gewicht des Kupferbandes fast ebenso groß, wie das des Kupferleiters. Die Kapazität einer solchen Ader gegen Erde beträgt 0,06 bis 0,08 Mf für 1 km. Für Schnelltelegraphen und für Fernsprechzwecke, unter Umständen auch für Simultanbetrieb, werden Doppelleitungen mit einem Drall von 10 bis 33 cm Länge verwendet. Sämtliche Kabel erhalten einen Bleimantel, der mit den einzelnen Kupferbändern zusammen die Erde bildet.

Die Vereinigung der Einzel- und Doppelleitungen zu Kabeln geschah früher ausschließlich und erfolgt auch jetzt noch vielfach in der Weise, daß die Adern in Lagen, deren Windungen jedesmal die Richtung wechseln, konzentrisch verseilt werden; solche Kabel sind bis zu 800 Adernpaaren verlegt worden. Außer dieser, als Zwillingskabel bezeichneten Type, sind neuerdings noch zwei besondere Verseilungsarten in Gebrauch gekommen, die Vielfachzwillingstype und die vierfachpaarige Type.

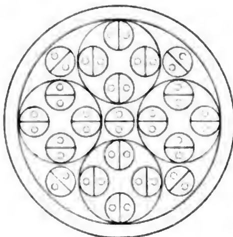
Beim Vielfachzwillingskabel werden zunächst zwei Adern miteinander, dann mit verschiedener Dralllänge mit einem zweiten ebensolchen Adernpaar und diese beiden Paare ebenso mit einem gleichen System von zwei Adernpaaren zusammen verseilt. In diesem Adernstrang sind die acht Leiter derart gruppiert, daß im Querschnitt eines solchen Stranges je vier Drähte senkrecht übereinander stehen und je zwei nebeneinander gelagert erscheinen. Durch diese Anordnung wird — abgesehen davon, daß durch die diagonale Lage der Adern und Aderngruppen und durch Verseilung von Adernpaaren mit verschiedenem Drall die gegenseitige induktorische Beeinflussung der Stromkreise möglichst ferngehalten ist — erstrebt, daß zur Ermäßigung des Widerstandes für lange Leitungen eine Parallelschaltung mehrerer Leiter ohne Erhöhung der Kapazität möglich ist. **Abb. 22** zeigt ein derartiges, nach dem Dieselhorst-Martin-Prinzip konstruiertes Kabel in seinem schematischen Aufbau. Das Kabel enthält außer sieben Adernbündeln der bezeichneten Konstruktion, zu je vier Doppelleitungen mit 2 mm Aderdurchmesser, noch sechs Paar dickere Adern von 2,47 mm Stärke. Das Ganze ist mit einer Lage von 29 kupferumsponnenen Einzeladern von 1,68 mm Durchmesser umgeben, es sind also insgesamt $37 \times 2 + 29 = 103$ Adern in

Abb. 22.



diesem Kabel vereinigt. Die Doppeladern werden für Schnelltelegraphen auf größere Entfernungen und als Fernsprechleitungen benutzt.

Abb. 23.



Das Prinzip der vierfachpaarigen englischen Kabel veranschaulicht **Abb. 23** für ein 42 adriges Kabel. Je zwei Adernpaare sind zunächst miteinander und immer vier dieser Adernpaare zusammen um einen die Mitte bildenden Strang Jute verseilt. Vier solcher achtadrigen Stränge, zwischen denen noch fünf Doppelleitungen verteilt sind, bilden das Kabel. Zuweilen werden in den sonst noch verfügbaren Raum Doppeladern geringeren Querschnittes eingefügt, auch sind mehrfach noch Lagen von Einzeladern vorhanden. Derartige Maßnahmen gleichen die recht ungünstige Raumaus-

Abb. 24.



nutzung in solchen kombinierten Seilen (zu vgl. S. 21) ein wenig wieder aus. Der Drall der eine Gruppe bildenden Adernpaare ist verschieden, ebenso der

vier Gruppen unter sich. Der wesentliche Unterschied im Aufbau dieser Anordnung gegen die Vielfachzwillingstype besteht darin, daß in letzterer zwei Gruppen von zwei verdrillten Paaren wieder in gewöhnlicher Weise zusammen verdrillt sind, während bei dem vierfachpaarigen Kabel die vier Adernpaare in der Schnittfläche die Eckpunkte eines Quadrats bilden. In **Abb. 24** ist noch der Kabelquerschnitt einer solchen Type dargestellt. Dieses Kabel enthält sieben Vierfachstränge von 2 mm Aderstärke, dazwischen sind noch sieben Einzeladern von 1,68 mm Durchmesser und ringsherum in zwei Lagen 22 + 44 kupferumsponnene Einzeladern von 2,85 und 1,68 mm gelegt, so daß das Kabel im ganzen aus 129 Drähten aufgebaut ist.

Fernsprechkabel.

Als das Bedürfnis hervortrat, auch für Fernsprechzwecke Kabelleitungen zu benutzen, lag es auf der Hand, für telephonische Verbindungen zunächst die bereits im Betriebe erprobten Telegraphenkabel zu verwenden. Es zeigte sich jedoch bald, daß es unmöglich war, mit den vorhandenen Kabeln einen ausreichenden Sprechbetrieb aufrecht zu erhalten. Durch lange Versuche und Überlegungen mußten erst die Schwierigkeiten erkannt werden, mit denen das Sprechen im Kabel zu kämpfen hat, und dann die Mittel gesucht werden, um diesen Erschwernissen mit Erfolg entgegen zu treten. Es kann nicht die Aufgabe der vorliegenden Abhandlung sein, auf die Einzelheiten dieses Entwickelungsganges und der auftretenden Erscheinungen [1]) näher einzugehen, es sollen aber die für die spätere Konstruktion der Fernsprechkabel wesentlichen Tatsachen und Erfahrungen kurz angegeben werden.

Bei den gemeinsam an oberirdischen Gestängen oder in Kabeln geführten Fernsprechleitungen macht sich zunächst die merkwürdige Erscheinung geltend, daß Gespräche aus der einen Leitung in der anderen gehört werden können. Es tritt also ein Mitsprechen ein. Die Ursachen hierzu liegen hauptsächlich in Induktionsvorgängen, die sekundäre Ströme in den Nachbarleitern hervorrufen.

Neben den durch die Art der Anordnung und Führung der Leitungen verursachten Störungen sind noch zwei andere Erscheinungen — die Dämpfung und die Verzerrung — zu berücksichtigen, welche ebenfalls auf den Fernsprechbetrieb einwirken, die aber andererseits in den Eigenschaften der Leitungen selbst begründet sind.

Die Sprechströme bestehen aus verschiedenen einzelnen Wellen. Diese unterscheiden sich durch ihre Amplitude, welche die Stärke des Tones bedingt, ferner durch ihre Schwingungszahl, welche die Tonhöhe bestimmt, und schließlich noch durch ihre Form, wodurch die Klangfarbe der Sprache gebildet wird. Die Sprechwellen der einzelnen Töne sind wieder zusammengesetzt aus einer Reihe von Wellen einfacher Form, die in ihrer Übereinanderlagerung eine resultierende Welle von ungleichmäßiger Gestalt ergeben. Die Einzelwellen haben verschiedene Frequenzen, der Grundton hat die geringste Schwingungs-

---

[1]) Hinsichtlich der Theorie der Fernsprechströme und des Einflusses der Leitungskonstanten wird besonders auf die Werke von Wietlisbach, Handbuch der Telephonie, 1899, III. Teil, Kapitel II, und von Breisig, „Theoretische Telegraphie", verwiesen.

zahl, die Obertöne sind durch höhere Perioden gekennzeichnet. Die Schwingungszahl kann durch die Leitung nicht verändert werden, wohl aber werden die Lautstärke und der zeitliche Zustand der Wellen durch die Konstanten der Leitung beeinflußt. Es wird daher am Ende der Leitung die Sprache anders wiedergegeben, als sie am Geberapparat erzeugt wird.

Die Einwirkung der Leitungskonstanten auf die Sprechwellen macht sich auf zweierlei Weise geltend. Die erste Erscheinung ist die Dämpfung[1], die darin besteht, daß die Amplituden am Ende der Leitung kleiner sind als am Anfang. Der zur Betätigung des Empfangsapparates am Ende ankommende Strom ist also gegen den Sendestrom geschwächt. Die Ursachen zu dieser Beeinträchtigung[2] der telephonischen Übertragung liegen in dem Leitungswiderstande und in der Kapazität. Letztere spielt dabei die Hauptrolle. Ein Kabel kann bekanntlich als eine unendliche Reihe unendlich kleiner, parallelgeschalteter Kondensatoren angesehen werden. Nun ist es eine Eigentümlichkeit der Kondensatoren, daß sie dem Wechselstrom um so weniger Widerstand bieten, je höher ihre Kapazität[3] und, was hier besonders in Betracht kommt, je höher die Frequenz des Stromes ist. Der hochfrequente Sprechstrom findet längs der ganzen Leitung Abwege, so daß nur ein Teil bis zum Ende gelangt. Auf diese Weise erklärt es sich auch, daß die hohen Töne stärker gedämpft werden als die tiefen mit geringerer Schwingungszahl, die Obertöne fallen teilweise sogar ganz fort. Die Sprache wird dumpfer, es entsteht der sogenannte Kabelton.

Neben der Dämpfung ist noch eine andere Erscheinung, die Stromverzögerung, zu berücksichtigen. Während erstere auf einer Änderung der Amplitude der Sprechströme beruht, ist letztere auf eine Veränderung der Phase, d. h. auf eine gegenseitige zeitliche Verschiebung der momentanen Zustände der einen Ton bildenden und sich überlagernden Sprechwellen zurückzuführen; es tritt dadurch eine Verzerrung der Sprache ein. Auch diese Veränderung der Fernsprechströme ist in der Hauptsache auf die Einwirkung der Kapazität zurückzuführen, sie ist aber praktisch nicht so wesentlich, wenn sonst die Übertragung der Sprache kräftig genug ist[4]).

Das vollkommenste Mittel zur Beseitigung des Mithörens besteht darin, nur Doppelleitungen zu verwenden und diese außerdem noch möglichst induktionsfrei gegeneinander im Kabel anzuordnen. Es müssen daher die beiden Zweige einer Leitung durch spiralige Führung ihre Lage zueinander fortgesetzt wechseln (s. S. 82); außerdem erhalten schon durch den Aufbau der Kabel die benachbarten Adernlagen noch wieder verschiedene Drallängen.

Die Wirkungen der Dämpfung und Stromverzögerung lassen sich nach den obigen Ausführungen durch Verringerung des Leitungswiderstandes und der Kapazität herabdrücken. Hinsichtlich des Leitungswiderstandes läßt sich jedoch nicht viel machen. Die Vergrößerung der Leiterquerschnitte würde zwar den Widerstand verringern, andererseits aber auch wieder die besonders schädliche Kapazität erhöhen und dazu das Kabel teurer und

---

[1]) Zu vgl. Breisig, Theoretische Telegraphie, § 204 ff.; Baur, S. 122 ff. — [2]) Die praktische Leistung einer Fernsprechleitung wird in der modernen Fernsprechtechnik durch ihre sogenannte Dämpfungskonstante angegeben. — [3]) Zu vgl. Anm. 2, S. 17. — [4]) Breisig, S. 307.

unhandlich machen. Mit dem Leiter kann man daher einen besseren Wirkungsgrad in der Hauptsache nur durch Auswahl möglichst reinen Kupfers als Leitungsmaterial erzielen. Wie weiter unten gezeigt werden wird, bietet die Selbstinduktion ein gutes Mittel zur Milderung der Kapazitätswirkungen. Sie kommt aber für die gewöhnlichen Anschlußkabel kaum in Betracht, da eine künstliche Vermehrung der Selbstinduktion sich für solche Kabel wegen ihrer im allgemeinen geringen Länge nicht lohnt. Es kommt also in der Praxis hauptsächlich auf eine Herabminderung der Kapazität durch Auswahl eines Isoliermaterials von möglichst geringer Dielektrizitätskonstante an, da in erster Linie nur dadurch in den gewöhnlichen Anschlußkabeln bei sonst bestimmter Länge und gegebenem Leiterquerschnitt in wirtschaftlichen Grenzen ein günstiger Einfluß auf die Sprechverständigung ausgeübt werden kann. Neben dem Material für die Isolation ist auch noch die Dicke der Isolierschicht von Bedeutung, da mit zunehmender Stärke die Kapazität ermäßigt wird (s. S. 13). Man begnügt sich jedoch in der Praxis, um das Kabel nicht unnötig teuer und schwer zu machen, mit einer solchen Stärke der Isolierung, daß sie eine sichere Isolation verbürgt und dabei eine bequeme Herstellung und Handhabung des Kabels ermöglicht. Da ferner durch die Schleifenschaltung der Drähte ihre kondensatorische Wirkung herabgedrückt wird (zu vgl. S. 16), so dient dieses, zunächst zur Verminderung der Induktion gewählte Mittel gleichzeitig auch zur Verbesserung der Übertragung der Sprache.

Das Problem eines geeigneten Fernsprechkabels gipfelt nach Vorstehendem hauptsächlich in den folgenden vier Forderungen (zu vgl. S. 2):

1. Geringer Leitungswiderstand.
2. Niedrige Kapazität.
3. Hoher Isolationswiderstand.
4. Möglichst geringe Beeinflussung [1]) der einzelnen Betriebsleitungen aufeinander.

Aus der ersten Zeit der Fernsprechtechnik sollen zunächst einige ältere Konstruktionen [2]) kurz erwähnt werden, die namentlich im Auslande mehrfach Anwendung gefunden haben. Zunächst das Edisonkabel, welches als Isolierhülle ein mit schweren Ölen imprägniertes Gespinst hatte und darüber mit einem Bleimantel versehen war. Die Masse war aber außerordentlich empfindlich, die Kohlenwasserstoffe zersetzten sich und erzeugten unerwünschte chemische Wirkungen. Das Pattersonkabel mit Paraffinisolierung ist in größerem Umfange verwendet worden. Die einzelnen, mit Baumwolle umwickelten Drähte wurden nach Trocknung mit Paraffin getränkt und dann in Bleiröhren eingezogen, oder aber man preßte in die mit den bewickelten Adern besetzten Röhren von beiden Seiten Paraffin ein, das also gewissermaßen luftdichte Stöpsel bildete. Ein derartiges Kabel ist auch zuerst mit Papierisolation in Frankreich konstruiert worden. Aber auch diese Kabel waren außerordentlich empfindlich; ihre Kapazität war allerdings infolge der Verwendung des Paraffins als Dielektrikum (Dielektrizitätskonstante 2 bis 2,3) geringer. Die Luft selbst ist als Isoliermittel zuerst bei dem Kabel von

[1]) Näheres zu ersehen: Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien 1904, Heft 50 und 1905, Heft 12; J. Schmidt, „Vermeidung der Induktion in Schwachstromkabeln". — [2]) Zu vgl. Deutsche Verkehrszeitung, Berlin 1910, S. 313.

Fortin Hermann benutzt. Um die einzelnen Kupferdrähte in einem bestimmten Abstand voneinander zu halten, sind über sie kleine dünne Zylinder oder Perlen (daher auch wohl der Name Korallenkabel) aus imprägniertem festen Material gezogen, die zusammen gleichsam eine vielgliedrige Kette bildeten. Die einzelnen Adern wurden zusammen verseilt und in Bleiröhren luftdicht abgeschlossen; aus **Abb. 25** ist eine derartige Kabelader zu ersehen.

Abb. 25.



Die ersten in größerem Umfange bei der R. T. V. verwendeten Kabel sind solche mit getränkter Baumwollumspinnung und Stanniolbewickelung für Einzelleitungsbetrieb. Die um die einzelnen Adern gewickelten Stanniolstreifen stellen zur Vermeidung der Induktion[1]) zwischen die Adern gelegte metallische Scheidewände dar, die untereinander und mit dem Bleimantel durch Berührung verbunden sind. Sie sollen die von den stromführenden Leitern ausgehenden Induktionen aufnehmen und die empfangene Energie zur Erde ableiten. Außerdem wurden in solche Kabel zur besseren Ableitung auch noch blanke Kupferleiter zwischen die stanniolbesponnenen Adern gelegt. Die Beeinflussungen, welche von außen (durch Starkstrom) auf das Kabel wirken, werden durch den Bleimantel abgefangen. Die Kabel haben jedoch infolge des Zinnbandes eine ziemlich beträchtliche Kapazität. Das Verfahren wird aber allgemein für Einzelleitungskabel, als sogenannte Anti-Induktionskabel, angewendet.

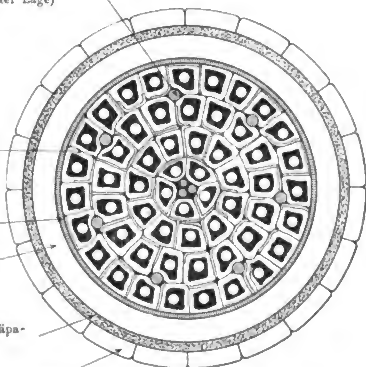
Da die Bestrebungen zur Verringerung der Kapazität zu einer anderen Bemessung der Leitungsadern nicht führen konnten, so blieb — wie bereits oben erwähnt — nur die Auswahl eines Isolierstoffes von möglichst geringer Dielektrizitätskonstante. Nach einer langen Reihe von Versuchen gelang es schließlich, im Papier das Material zu finden, das sich einesteils wegen seiner eigenen geringen Konstante, andererseits aber besonders deshalb zur Verwendung für Fernsprechkabel eignete, weil es gestattete, die Luft, welche die allergeringste Konstante besitzt, als eigentliches Isoliermittel praktisch brauchbar zu verwenden. Die großen Fortschritte der Fernsprechtechnik konnten zum Teil erst errungen werden, nachdem es ermöglicht war, Kabel mit Luftisolation in einwandfreier Weise und billig herzustellen, wobei das Papier[2]) eigentlich nur als trennende Schicht dient. Das ganze Kabel ist durch das Papier in röhrenförmige Schläuche geteilt, deren jeder einen Draht beherbergt. In Deutschland sind die ersten derartigen Kabel[3]) von der Firma Felten u. Guilleaume, Mülheim (Rhein), konstruiert worden. Die Dielektrizitätskonstante einer solchen Luftraumpapierisolierung beträgt im Durchschnitt etwa 1,5 (s. S. 96).

Abb. 26 stellt ein Mitte der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts bei der R. T. V. als Normalkabel[4]) eingeführtes 56 adriges Fernsprecherdkabel

[1]) Zu vgl. die bei Besprechung der Papiertelegraphenkabel gemachten Angaben, S. 82 ff. — [2]) Zu vgl. die Ausführungen über Papier, S. 62 ff. — [3]) E. T. Z. 1892, S. 674 und 1900, S. 950. — [4]) Archiv für Post und Telegraphie 1895, Heft 22.

mit 1 mm starken Leitern und mit Luftraum- und Papierisolierung dar. Als einzige Bedingung war damals gefordert, daß die Kabel bei ausreichender Leitfähigkeit und Isolation und bei genügender Festigkeit eine möglichst geringe Ladung haben sollten; bestimmte elektrische Konstanten sind seinerzeit noch nicht festgelegt worden. Auch hinsichtlich der Art der Papierumhüllung war weiter Spielraum gelassen, ebenso waren die Vorschriften wegen des Induktionsschutzes (Zinnfolie und Kupferdrähte) nur ganz allgemein gehalten. So waren denn auch verschiedene Typen in Gebrauch, deren elektrische Werte nicht unerheblich voneinander abwichen (0,08 bis 0,12 Mf Kapazität, 23 bis 30 S. E. Leitungswiderstand, Isolation über 100 Millionen S. E.). Trotz aller Konstruktionsunterschiede war aber insofern wenigstens die Einheitlichkeit gewahrt, als das Verfahren zur Anfertigung der Lötstellen und Endverschlüsse fast völlig gleichmäßig blieb. Da aber die zur Bekämpfung der Induktion angewendeten Mittel andererseits auch wieder eine Zufuhr an Kapazität mit sich brachten, so war in der Praxis doch noch nicht viel erreicht. Eine gute Verständigung auf größere Entfernungen war in solchen Kabeln noch nicht möglich. Dieses Ziel zu erreichen, blieb erst den bald zur allgemeinen Einführung gelangten **Doppelleitungskabeln** vorbehalten, die auch allein ausreichenden Schutz gegen Induktionsstörungen aus elektrischen Starkstromanlagen bieten.

Abb. 26.



Die **Verfahren zur Umhüllung des Leiters mit dem Papier** sind recht verschieden [1]) und bei den einzelnen Verwaltungen und Kabelwerken

[1]) Zu vgl. J. Schmidt, Die Fabrikation mehradriger Telephonkabel mit Luftisolation; Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien 1904, Heft 3, 15 und 22; ferner zu vgl. die Ausführung im I. Abschnitt über die Umspinnungsmethoden, S. 17 ff., dazu Coyle and Howe, S. 157.

vielfach anders gestaltet. Die Umwickelung kann entweder longitudinal oder spiralig in einer oder mehr Lagen erfolgen. Die hauptsächlich ausgebildeten Formen sind die folgenden:

Abb. 27.



Abb. 27 zeigt zunächst eine Longitudinalumspinnung, wie sie z. B. von Felten u. Guilleaume früher ausgeführt worden ist. Die beiden Drähte einer Doppelleitung sind durch einen Streifen Papier voneinander getrennt, mit demselben zu einer Schraubenfläche verdreht und zum Zusammenhalten der Papierröhre mit einem zweiten Streifen spiralig umsponnen. Bei dieser Bespinnungsart laufen die beiden Adern und der zwischenliegende Papierstreifen gleichzeitig durch die Maschine, das Verfahren ist also billiger und schneller, als wenn jede Ader einzeln umsponnen wird — in beiden Fällen abgesehen von der gemeinsamen Umspinnung der Adernpaare.

Abb. 28.



Auch bei der durch **Abb. 28** zur Anschauung gebrachten sogenannten Dreiecksfaltung des Papiers, bei der die Kupferleiter jedes Adernpaares mit einem in Dreiecksform gefalteten Papierstreifen der Länge nach röhrenförmig umgeben und dann gemeinsam mit einem zwischengelegten Papierstreifen, dem Steg, verseilt sind, ist die Longitudinalbewickelung vorhanden. Der Zweck dieses Steges ist die Bildung einer stärkeren Papierzwischenlage und damit infolge des größeren Leiterabstandes einer besseren Sprechfähigkeit. Da die Adern bei dieser Dreiecksfaltung leicht aus dem Papier herausspringen, so wird ein solches Adernpaar ebenfalls noch mit einer gemeinsamen spiraligen Papierumwickelung versehen.

Diese beiden Umspinnungsmethoden vereinigen beide Arten der Bewickelung, die longitudinale und die spiralige; ein jedes Adernpaar bildet gewissermaßen einen für sich abgeschlossenen, der Länge nach in zwei Kammern geteilten Schlauch.

Zweckmäßiger als die Längsumhüllung und auch jetzt fast überall ausschließlich gebräuchlich ist die spiralige Umwickelung der einzelnen Adern. Hierbei entsteht eine den Leitungsdraht hohl umgebende Röhre aus Papier mit übergreifenden Rändern. Die Verwendung von 1, 2 oder selbst 3 Streifen Papier um die Leiter wechselt je nach den Erfahrungen und Ansprüchen der verschiedenen Verwaltungen und Gesellschaften. Vielfach ist bei nur einer

Lage zur sicheren Verhinderung des Öffnens der Papierstreifen noch ein spiralig umlaufender Faden üblich. Bei doppelter Umspinnung wird auch wohl zwischen die beiden Papierstreifen ein Baumwollfaden verseilt, um genügenden Luftzwischenraum zu sichern. In **Abb. 29** ist ein verseiltes Adernpaar mit zweifacher, entgegengesetzter Papierumspinnung der einzelnen Adern dargestellt; eine besondere gemeinsame Umwickelung eines solchen Doppeldrahtes ist bei dieser Bespinnungsart für gewöhnlich nicht notwendig.


Abb. 29.

Durch solche röhrenartige Umspinnungen der Adern ist aber die Möglichkeit geboten, daß der Leiter auf der ganzen Länge mit dem Papier in Berührung ist. Um dieses zu vermeiden, um also den Leiter so viel als nur irgend möglich von dem direkten Aufliegen auf dem Papier zu bewahren und viel freien Luftraum um den blanken Leiter zu schaffen, sind mannigfaltige Konstruktionen versucht worden. In die Praxis haben sich diese aber nicht eingeführt, da sie zu teuer sind, und da auch ohne solche Komplikationen ausreichend niedrige Kapazitätswerte erzielt werden können.

Der um die Einzeladern gebildete Luftraum ist recht verschieden, er schwankt bei den jetzigen Kabeln der R. T. V. mit 0,8 mm Leiter für ein Adernpaar etwa zwischen 8 und 13 qmm und beträgt im Durchschnitt ungefähr 10,6 qmm. Im allgemeinen ist ein loser gepreßtes Kabel mit größerer Luftmenge [1]) wegen seiner geringeren Kapazität [2]) günstiger, doch besteht auch hierfür mit zunehmender Adernzahl eine Grenze, da das Kabel sonst zu dick, schwer, unhandlich und teuer wird, und da außerdem lose gepreßte Kabel leichter Beschädigungen beim Verlegen ausgesetzt sind. Es sind also die elektrisch günstigsten Kabel für die Praxis deshalb noch nicht in jedem Fall zugleich die geeignetsten — das gegenseitige Abwägen der beiden Faktoren ist Sache der Erfahrung.

Theoretisch ist auch die Stärke und Menge des Papiers nicht ohne Einfluß. Gleichbleibenden Luftraum vorausgesetzt, wird durch Verstärkung der Papierschicht der Abstand der beiden Leitungsdrähte voneinander vergrößert, und dieses bringt eine Erhöhung der die Kapazität bekämpfenden Selbstinduktion mit sich. Die Praxis hat aber ergeben, daß innerhalb der

[1]) Wegen Berechnung des Luftinhaltes eines Kabels zu vgl. die Ausführungen im Abschnitt IX bei Besprechung der Behandlung der Kabel mit Druckluft. — [2]) Über Beziehung zwischen Luftraum und Kapazität s. Coyle and Howe, S. 164.

üblichen Grenzen der zu den gewöhnlichen Fernsprechanschlußkabeln verwendeten Papiergewichte [1]) ein merklicher Unterschied in der Sprechverständigung, auch zwischen Kabeln mit einer oder zwei Papierlagen, nicht besteht. Die zweite Lage Papier dient in der Hauptsache nur zur Sicherung der gegenseitigen Isolation und zur Vermeidung des Herausspringens der Adern. Es sei hierbei noch bemerkt, daß z. B. in Amerika zur weiteren Ermäßigung der Kapazität auch Kabel mit in der Längsachse perforiertem Papier hergestellt werden. Durch die Perforierung ist möglichst viel festes Material entfernt und die Luftzirkulation im ganzen Kabel noch verstärkt. Die Dielektrizitätskonstante einer solchen Papierluftraumisolierung wird etwa 1,3 betragen. Wegen des beim Einziehen der Kabel aufzuwendenden Zuges ist aber bald eine Grenze für das Ausstanzen des Papiers gegeben, so daß wohl kaum viel mehr als etwa ein Viertel der Papierfläche wird entfernt werden dürfen.

Das Papier, das lose um die Adern gewickelt ist und nur einen Teil des gesamten Raumes zwischen den Adern ausfüllt, wird beim Bilden der Kabelseele zusammengedrückt und erhält eine mehr oder weniger prismatische Gestalt. Die Adernquerschnitte bieten infolgedessen an verschiedenen Stellen des Kabels nicht dieselben Bilder, da die Lufträume teilweise verkleinert werden. Diese Quetschung des Papiers ist jedoch, soweit nur überhaupt genügend Luft vorhanden und ausreichend niedrige Kapazität eingehalten ist, praktisch ohne Belang, weil das Papier im Grunde nur als mechanisches Trennungsmittel dient.

Während früher auch noch von getränktem Papier Gebrauch gemacht wurde, wird jetzt ausschließlich trockenes, ungetränktes Papier verwendet, in dem also die poröse Eigenschaft des Materials voll ausgenutzt und der Luftdurchgang nicht durch feste Masse abgeschlossen wird.

Zur leichten Unterscheidung der *a*- und *b*-Adern jeder Doppelleitung wird entweder durchgängig verschiedenfarbiges Papier — in der Regel weiß und rot — genommen, oder aber es wird eine Ader verzinnt. Außerdem muß in jeder Adernlage noch ein Adernpaar zu Zählzwecken besonders gekennzeichnet sein. Die Verzinnung ist teurer und auch nicht in jedem Fall gleichmäßig sicher, da z. B. in dunklen Räumen, in tiefen Kabelbrunnen usw. die vielleicht etwas schwache [2]) galvanische Verzinnung nicht immer genügend erkannt werden kann. Die für das Papier verwendete Färbung muß dauerhaft sein, damit nicht beim Abbrühen der Spleißstellen Isolationsmängel entstehen.

Als Aderstärke [3]) wird für die gewöhnlichen Anschlußkabel jetzt im allgemeinen 0,8 mm, mit 0,5 qmm Querschnitt, genommen. Allerdings drängen die beschränkten örtlichen Verhältnisse in der Nähe der großen Zentralen öfter zu einer weiteren Verringerung des Durchmessers; 0,6 mm wird schon mehrfach, auch seitens der R. T. V., gewählt, da dann in demselben Kabelquerschnitt erheblich mehr Adern untergebracht werden können und die Kanäle daher nicht stärker als sonst gebaut zu werden brauchen. Im Auslande ist man versuchsweise sogar auf 0,5 mm (Petersburg) und selbst auf 0,4 mm (Stockholm) heruntergegangen [4]). Der durch solche Querschnittsverringerung

[1]) Zu vgl. Coyle and Howe, S. 105 ff. — [2]) Zu vgl. S. 9. — [3]) Zu vgl. Coyle and Howe, S. 157. — [4]) Zu vgl. Dinglers polytechnisches Journal, 90. Jahrg., Bd. 324, S. 632.

entstehende größere Leitungswiderstand kommt wegen der nur kurzen Strecken im Verhältnis zur ganzen Leitungslänge für die Sprechverständigung nicht wesentlich in Betracht. Aber selbst eine geringe Verschlechterung müßte infolge der oft sehr schwierigen örtlichen Verhältnisse in der Nähe der großen Ämter notwendigerweise in den Kauf genommen werden.

Die Anforderungen an die Isolation der Papierkabel können außerordentlich weit getrieben werden. Es gibt aber auch hier eine Grenze (zu vgl. S. 13). Durch allzu scharfes Trocknen der Kabel wird das Papier schließlich brüchig und besitzt dann nicht mehr die zum Einziehen der Kabel und zur Anfertigung der Lötstellen nötige Festigkeit. Aus diesem Grunde sind auch bereits vereinzelt Höchstwerte für die Isolation festgesetzt; z. B. dürften etwa 20000 Megohm eine zweckmäßige Höhe darstellen. Als untere Grenze wird in der Regel 500 Megohm gefordert, doch gibt es auch Vorschriften mit 600 und 1000 Megohm. Der Vorteil besonders hoher Mindestisolationswerte ist recht zweifelhaft, da diese höhere Kosten erfordern, denen nur eine im Betriebe fast unmerkliche Verbesserung der Sprechfähigkeit gegenübersteht. Die Praxis hat jedenfalls gezeigt, daß über das Maß der üblichen Trocknung hinaus für die Sprechverständigung ein Gewinn an Kapazität und Dämpfung kaum erzielt werden kann.

Die Kapazität der Fernsprechpapierkabel ist durch die Größe des Luftraumes, weiter durch das Papier, die Verseilungsart, den Trockenzustand und den Aderdurchmesser bestimmt. Je nach den Erfahrungen und besonderen Ansprüchen werden seitens der einzelnen Verwaltungen die Höchstwerte, für Einzel- oder für Doppelleitung, vertragsmäßig den Kabelwerken auferlegt, und zwar gewöhnlich nach Gleichstromwerten. In den 0,8 mm-Adern ist die Doppelleitungskapazität teilweise bis auf 0,03 Mf herabgedrückt worden.

Das oben als wirksamstes Mittel zur Beseitigung des Mitsprechens angegebene paarweise Verdrillen der zueinander gehörigen Leitungsadern hat noch den anderen Zweck, die für eine Doppelleitung bestimmten beiden Drähte immer beisammen zu halten, so daß sie bei Anfertigung der Spleißstellen usw. nicht verwechselt werden können. Die Verdrillung der Adernpaare erfolgt in besonderen kleineren Verseilmaschinen liegender oder stehender Anordnung.

Hinsichtlich der Länge des Dralls[1]) eines Adernpaares bestehen große Verschiedenheiten. Theoretisch ist zunächst zu bemerken, daß der kürzeste Drall der beste ist, und daß die Induktion nur dann auf ein Minimum gebracht wird, wenn auch die nebeneinander liegenden Paare wieder verschiedenen Drall haben und außerdem noch ihre Richtung wechseln. Solchen Forderungen stehen jedoch gewichtige Bedenken wirtschaftlicher und technischer Art gegenüber. Je kürzer der Drall, desto länger wird die Ader, desto höher werden der Leitungswiderstand und die Kapazität, sowie der Umfang, das Gewicht und der Preis des Kabels.

Während bei den meisten auswärtigen Verwaltungen die Länge des Aderndralls vertragsmäßig bei den Ausschreibungen festgelegt wird, hat die R. T. V. von einer solchen Maßnahme noch abgesehen, da bisher ungünstige Wirkungen nicht festgestellt sind. Es hat sich nämlich in der Praxis ge-

[1]) Zu vgl. S. 24.

zeigt, daß die verschiedene Drallänge, ob einige cm mehr oder weniger, bei der im Durchschnitt verhältnismäßig geringen Länge der Anschlußkabel überhaupt keinen merklichen Einfluß ausübt. Kabel mit Drallängen von unter 10 cm bis über 20 cm sind mit gleich gutem Erfolge im Betriebe, ohne daß sich irgend ein Unterschied herausgestellt hat. Es wird daher bis auf weiteres den einzelnen Kabelwerken überlassen, wie sie den Drall am besten ihrer Fabrikationsmethode anpassen können. Voraussetzung bleibt aber, daß der Drall dabei immer noch so kurz ist, daß auch bei geringer Länge der Spleißstellen die zusammengehörigen Adern, namentlich in den inneren Lagen, ohne Schwierigkeit erkannt werden können. Die Wahl eines verschiedenen Dralls in nebeneinander liegenden Adernpaaren wird von einem Teil der Kabelwerke bevorzugt, z. B. mit drei oder vier sich regelmäßig wiederholenden Drallängen in jeder Lage. Wenn auch in derselben Adernlage die *a*- und *b*-Adern der einzelnen Paare je zueinander parallel liegen und dadurch theoretisch die Induktion wieder vergrößert werden könnte, so liegt darum zu einer derartigen Komplizierung der Fabrikation für Anschlußkabel doch keine zwingende Notwendigkeit vor.

Anders verhält es sich mit dem Lagendrall[1]). Es muß bei den konzentrisch aufgebauten Kabeln wegen des größeren Umganges der äußeren Lagen um die mit jeder Lage stärker werdende Kabelseele der Drall jedesmal länger werden, um gleiche Adernlänge zu erzielen. Auch hierfür haben die einzelnen Firmen verschiedene, durch ihre Fabrikationsweise bedingte Werte, indem z. B., von der innersten Lage ausgehend, in jeder folgenden Lage der Drall um eine bestimmte — bei einigen Verwaltungen sogar vertragsmäßig festgesetzte — Größe steigt; bei den stärksten Kabeln der R. T. V. ist der Drall der äußersten Lage bis über 2 m lang.

Der allgemein angewendete Richtungswechsel in jeder folgenden Lage hat nicht nur den Zweck einer besseren Vermeidung der Induktion, sondern er gibt auch dem ganzen Kabel ein erheblich festeres Gefüge.

Eine Zeitlang ist es auch bei der R. T. V. vertragsmäßig vorgesehen oder zugelassen worden, die Kabel nicht nur aus Doppelleitungen, sondern zu je vier Drähten miteinander zu verseilen. Man ist jedoch nach den Erfahrungen der Praxis wieder davon abgekommen, da bei unsymmetrischer Lage der Drähte zueinander wieder Induktionsstörungen auftreten, und weil außerdem bei Anfertigung der Spleißstellen leichter Verwechselungen von Adern vorkommen können. Derartige Kabel sind in den Linien noch vorhanden, werden aber nicht mehr neu beschafft.

Induktionsstörungen lassen sich noch durch andere Anordnungen[2]) vermeiden als nur durch paarweise Verseilung und konzentrische Lagenbildung. Man kann z. B. die gegenüberliegenden Adern einer Schicht zu einem Stromkreise verbinden und sie durch Metallbewickelung[3]) schützen. Man versetzt auch wohl sprungweise die Schichten zueinander und kreuzt Hin- und Rückleitung in bestimmter Weise, oder man vertauscht die in Gruppen oder Schichten gelagerten, einander gegenüberliegenden Hin- und Rückleitungen in den Lötstellen. A. Liedtke, Berlin, hat die Gesetzmäßigkeit des Dralls

[1]) Zu vgl. die Ausführungen im I. Abschnitt, S. 24. — [2]) Näheres s. Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien 1905, Heft 12 (J. Schmidt), sowie Blätter für Post u. Telegraphie, Berlin, I. Jahrg., S. 35. — [3]) Zu vgl. S. 92.

und der Kreuzungen für Kabel noch weiter durchgebildet. Er will die Beeinflussung benachbarter Adern derselben Schicht durch Kreuzung der zusammengehörigen Adern, die Induktion zwischen benachbarten Schichten durch Verdrillen beseitigen. Dann hat er auch noch weitere Anordnungen für unverseilte Kabel vorgeschlagen, bei welchen an Stelle des Dralls eine gesetzmäßige Schränkung der Adern gleichgelegener Schichten an den Verbindungsstellen der Kabelteilstrecken eintreten soll.

Eine weitere Möglichkeit zur Verseilung der Adern zur Kabelseele bietet die Gruppenbildung, wie sie namentlich in England nach dem Dieselhorst-Martin-Prinzip[1]), besonders allerdings für Fernleitungen, teilweise aber auch für kombinierte Telegraphen- und Fernsprechkabel gebräuchlich ist. Solche Anordnungen sind bei Besprechung der Papiertelegraphenkabel[2]) bereits erörtert worden. Das erwähnte System soll im wesentlichen dazu dienen, die Kabelleitungen durch Kombinationen zu neuen Sprechkreisen zu vereinigen. Es besteht im allgemeinen darin, daß je zwei in besonderer Weise verdrillte Doppelleitungen miteinander zu Viererleitern vereinigt werden. Dann bildet jede der beiden Doppelleitungen eines Viererleiters die Hin- und Rückleitung eines neuen Sprechkreises. Man erhält also 50 v. H. neue Sprechkreise. Diese Kombinationen können auch noch auf Achterleiter ausgedehnt werden, doch führt dieses Verfahren dann leicht zu Schwierigkeiten. Die Mehrkosten für solche Kabel sind nicht erheblich, sie bringen aber dafür die Aufnahmefähigkeit eines Kabels auf das einundeinhalbfache. Die Sicherheit der Kombinationen dieser Art gegenüber den oberirdischen Leitungen liegt in ihrer Beständigkeit, da die Isolation des Kabels dauernd gleichmäßig gut bleibt, so daß die Symmetrie des Systems nicht gestört wird[3]); allerdings ist besondere Vorsicht bei Beschaltung der Adern geboten.

Abb. 30.



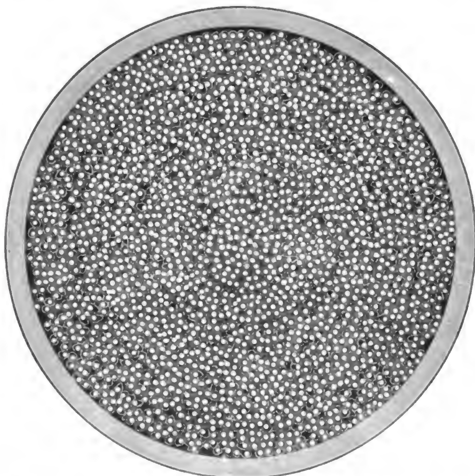
Die eigentliche Kabelseele wird in zylindrischer Form dadurch gebildet, daß die erforderliche Anzahl verdrillter Adernpaare um die Achse des Kabels aufgebracht wird, und zwar, wie erwähnt, im allgemeinen in konzentrischen Lagen wechselnder Richtung. In **Abb. 30** ist zur Veranschaulichung des Aufbaues ein aufgeteiltes 500 paariges Fernsprechanschlußkabel der R. T. V. mit Luftraum und Papierisolation dargestellt.

[1]) Baur, S. 199. — [2]) Zu vgl. S. 87. — [3]) Hieran kranken bekanntlich die oberirdischen Kombinationen ganz erheblich.

Die Zahl der Adernpaare eines Kabels schwankt in sehr weiten Grenzen von 1 bis 1000; bei der R. T. V. sind Papierluftraumkabel von 5 bis 500 Adernpaaren gebräuchlich, nur ganz selten wird eine größere Adernzahl gewählt [1]).

Wieviel Adern in jeder Lage untergebracht werden, hängt von dem Umfange und der Gesamtadernzahl des herzustellenden Kabels ab; die Zahl wird mit jeder Lagenfolge größer. Die Art der Verseilung wird von der R. T. V. den einzelnen Werken überlassen. Es möchte aber doch vielleicht dahin zu streben sein, die verschiedenen Kabelfirmen durch die Lieferungsbedingungen hinsichtlich der Zahl der Adern in den einzelnen Lagen zu einer einheitlichen Konstruktion anzuhalten; allerdings müßte für jede Kabeltype

Abb. 31.



zunächst die für die Fabrikation günstigste Verseilung ermittelt werden. Die Kabelwerke würden sich dann mit ihren Maschinen allmählich der vorgeschriebenen Verseilung anzupassen haben. Mit wachsender Adernzahl der einzelnen Lagen können sonst bei der Verspleißung der Kabelenden verschiedener Herkunft Schwierigkeiten entstehen. Solange diese Forderung nicht erfüllt ist, muß wenigstens darauf gehalten werden, daß nur Kabelstücke gleicher Konstruktion miteinander verbunden werden.

Abb. 31 zeigt das 500paarige Kabel der Abb. 30 im Querschnitt.

Die fertiggestellte Kabelseele wird mit einem oder mehreren breiten Papierbändern oder mit Stoffstreifen bewickelt, um die einzelnen Leiter fest

[1]) So z. B. ist im Jahre 1909 in Charlottenburg ein 600paariges Kabel mit Leitern von 0,6 mm Stärke (0,283 qmm Querschnitt) und etwa 86 mm äußerem Durchmesser verlegt worden.

an ihrem Platz zu halten und zu verhüten, daß das Blei des Mantels mit den Papierhüllen der äußeren Adern in Berührung kommt. Dadurch wird außerdem eine größere dielektrische Festigkeit in den äußeren Lagen gewährleistet. Das Kabel erhält hierbei eine glatte, runde Oberfläche, die das Umpressen mit dem Bleimantel leichter und gleichmäßiger gestaltet. Solche Bandumwickelungen sind bei starken Kabeln auch schon um einige innere Adernlagen zu empfehlen, um eine größere Festigkeit des ganzen Kabels zu erreichen.

Während der Verseilung der Adern hat das hygroskopische Papier unvermeidlich mehr oder weniger Feuchtigkeit aufgenommen, die vor Aufbringung der Bleihülle erst noch wieder entfernt werden muß. Das Kabel kommt deshalb zunächst in einen Trockenofen (S. 29) und von dort sofort in die Bleipresse, es wird dann aufgehaspelt, geprüft und an den Enden abgeschlossen (S. 44).

Eine wesentliche Lebensfrage für Papierkabel ist die gute Umpressung mit dem Bleimantel, da bei ungenügender Sorgfalt unter Umständen das ganze Kabel feucht werden und dann der gesamte Betrieb in Frage gestellt sein kann. Bei der Fabrikation ist besonders darauf zu halten, daß der Bleimantel möglichst ohne Zwischenraum fest auf der Kabelseele aufliegt, damit später beim Verlegen der Kabel keine Schwierigkeiten durch Knicke oder Stauchungen entstehen[1]. Andererseits dürfen aber die Lufthohlräume durch die Umpressung nicht zu sehr verkleinert werden.

Der äußere Umfang und damit auch das Gewicht der einzelnen Kabel sind trotz gleicher Adernzahl und Drahtstärke, trotz gleicher Menge Isoliermaterial und Bleimanteldicke recht verschieden; hierfür sind die im Einzelfall angewendeten Fabrikationsmethoden maßgeblich.

Die allgemeinen Anforderungen[2], welche an ein gutes Fernsprechkabel zu stellen sind, können nach den vorstehenden Ausführungen folgendermaßen zusammengefaßt werden:

1. Die elektrischen Eigenschaften des isolierten Leiters sollen ein Maximum der Sprechverständigung ergeben, soweit sie mit den sonstigen Forderungen in Einklang zu bringen ist.

2. Die Beeinflussung der einzelnen Stromkreise aufeinander soll praktisch gleich Null sein.

3. Das Kabel soll für das Maximum gegenseitig unabhängiger Leiter ein Minimum von Raum beanspruchen.

4. Die dielektrische Festigkeit soll so groß sein, daß sie gegen die verwendeten Betriebsspannungen vollständig sichert und auch eine Zerstörung durch Blitz oder sonstige Fremdströme nach Möglichkeit hintanhält.

5. Die mechanische Konstruktion, welche zur Erzielung der elektrischen Eigenschaften gewählt ist, soll eine ständige Erhaltung dieser Eigenschaften auch nach der Verlegung der Kabel gewährleisten.

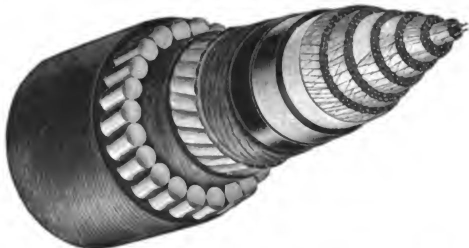
6. Der durch die geforderte Konstruktion bedingte Kostenaufwand soll die Kabellegung im Vergleich zu anderen Arten der Leitungsführung auch wirtschaftlich zweckmäßig machen.

[1] Zu vgl. S. 25, 33 und 171. — [2] Zu vgl. S. 21 und 91; ferner Telephony, Chicago, Bd XVIII, Heft 1 u. 2.

Nach der Verwendung der Kabel unterscheidet man: Erd-, Fluß-, Röhren- und Luftkabel[1]).

Die Erd- und Flußkabel erhalten über dem Bleimantel noch eine Bewehrung, die je nach den besonderen Verhältnissen und Beanspruchungen wechselt. Auf den Bleimantel wird zunächst ein Polster aus Jutehanf, Papier, Asphaltschichten usw. aufgebracht, damit elektrolytische Wirkungen zwischen Bleimantel und Eisendrähten vermieden werden und der Bleimantel beim Verlegen der Kabel nicht durch die Bewehrungsdrähte beschädigt wird. In **Abb. 32** ist ein Flußkabel der R. T. V. mit doppelter Bewehrung dargestellt,

Abb. 32.



bei stärkeren Typen oder besonders gefährdeten Durchgängen werden die Kabel mit S-förmigen Schutzdrähten versehen (zu vgl. S. 38 u. 42).

Die Röhrenkabel sind in der Regel blanke Bleikabel[2]). Davon, diese blanken Kabel mit getränktem Bande zu umwickeln, um elektrolytische Wirkungen auf den Bleimantel, namentlich in Eisenrohren, fernzuhalten, ist man wieder ganz abgekommen.

Luftkabel werden hauptsächlich im Auslande[4]) verwendet. Zur Verringerung ihres Gewichtes sieht man von dem Bleimantel zuweilen ganz ab; dafür wird die Kabelseele mit mehreren Lagen Band und Papier dicht umpreßt, dann umklöppelt und gründlich mit wetterbeständigen Massen getränkt. Häufig hat man auch die zur Luftführung bestimmten Bleikabel mit getränkten Bändern umwickelt, um eine Beschädigung des Bleimantels zu verhüten. Diesem Vorteil steht aber die Schwierigkeit des Auffindens von Bleimantelfehlern entgegen, auch verwittert das Band und hängt dann in Fetzen herab. In Australien[3]) hat man sogar gefunden, daß sich gewisse Insektenarten mit Vorliebe in diesen Bändern einnisten und allmählich selbst den Bleimantel anbohren. Solche Bänder sind daher nicht zweckmäßig.

Es würde zu weit führen, die zahlreichen verschiedenartigen Fernsprechkabelkonstruktionen[4]) auch nur zu erwähnen, es sollen daher nachstehend nur die Bedingungen der R. T. V. kurz mitgeteilt werden.

---

[1]) Die Seekabel kommen hier nicht in Betracht. — [2]) Wegen bewehrter Röhrenkabel zu vgl. die Ausführungen im Abschnitt VI. — [3]) Kempster B. Miller, S. 811. — [4]) Betr. amerikanische Kabel zu vgl. Kempster B. Miller, S. 805 ff.; betr. englische Kabel z. B. pocket book of electrical rules von Munro and Jamieson, London, 17. Aufl., S. 331 ff.

Die Stärke der Leiter beträgt für Anschlußleitungen im allgemeinen 0,8 mm, selten 0,6 mm. Aus früheren Jahren stammt noch eine größere Anzahl auf kürzeren Strecken verlegter Kabel mit 0,7 mm-Leitern. Für Verbindungsleitungen werden massive Drähte oder litzenförmige Leiter verwendet, deren Kupferquerschnitt Drähten von 1,5 und 2 mm entspricht. Eine Ader jedes Paares ist verzinnt. Die Umspinnung mit den Papierstreifen soll jetzt nur noch spiralförmig in zwei entgegengesetzten Lagen erfolgen. Früher waren auch noch andere Methoden, namentlich die Dreiecksfaltung, zugelassen, ferner waren vielfach Kabel mit nur einer Umspinnung und Fadenbewickelung gebräuchlich. Die Kabel werden entweder als reine Anschlußleitungskabel, als Verbindungskabel mit stärkeren Adern oder als gemischte Kabel konstruiert, die Zahl der verschiedenen Typen beträgt zurzeit über 70. Bei gemischten Kabeln sollen die stärkeren Adern im Kern liegen [1]); Paare mit gleich starken Leitern sollen wegen des größeren Raumbedarfs nicht in Gruppen verseilt werden [2]). Sämtliche Adern haben weißes Papier, nur die Zähladern jeder Lage sind mit farbigem Papier umsponnen. Um jederzeit die Kabelfirma leicht erkennen zu können, wird die Kabelseele unterhalb der Band- oder Papierumwickelung mit einem Kennfaden umsponnen, dessen Färbung für jedes an den Lieferungen für die R. T. V. beteiligte Kabelwerk besonders festgesetzt ist. Der Bleimantel enthält 3 v. H. Zinnzusatz, er soll ohne Hohlraum fest um das Kabel gepreßt sein und aus einem Stück ohne Verbindungs- und Schweißstellen bestehen, seine Stärke schwankt zwischen 1,3 und 4 mm, zunehmend mit der Adernzahl. Bei bewehrten Kabeln wird der Bleimantel zunächst mit einer imprägnierten Schutzhülle umgeben. Die Bewehrung bilden verzinkte Flacheisendrähte von trapezförmigem Querschnitt oder runde Stahldrähte, auf die noch Asphalt- oder Compoundschichten mit oder ohne Juteeinlage aufgebracht werden; für Röhrenkabel sollen nur flache Schutzdrähte in Anwendung kommen, soweit sie überhaupt — z. B. in Vollrohrkanälen — erforderlich sind. Für die stärkeren Typen ist der höchstzulässige äußere Durchmesser der unbewehrten Kabel vorgeschrieben, er beträgt z. B. bei 250, 300, 350, 400, 500 Adernpaaren 70, 76, 80, 89, 98 mm. Je fester ein starkes Kabel — bei sonst vertragsmäßigen elektrischen Werten — gepreßt, je geringer also der Durchmesser ist, um so besser ist es für die spätere Verlegung geeignet. Die Kabel sollen an den Enden mit besonders zubereiteter, frostsicherer Masse ausgegossen und mit Bleikappe verschlossen sein. Hinsichtlich der Anforderungen an den Kupferleiter und das Papier gelten die im Abschnitt I und II dieserhalb gemachten Angaben [3]). Die elektrischen Anforderungen betragen für die Adern mit 0,8, 1,5 und 2 mm starken Leitern bei 15° C und für 1 km Kabellänge 37, 10 und 5,6 Ohm Höchstleitungswiderstand, 0,055, 0,060 und 0,065 Mf Höchstkapazität für Einzelleitung (0,037, 0,040 und 0,043 für Doppelleitung) und allgemein mindestens 500 Megohm Isolationswiderstand; Abweichungen sind bis 5 v. H. nach oben oder unten zulässig.

Eine neuere Konstruktion der R. T. V. sind noch die 50- oder 56 paarigen **Abschlußkabel**, welche zur Verbindung der Hauptkabel mit Endverschlüssen in den Ämtern dienen. Die 0,8 mm-Leiter sind mit zwei Papierstreifen fest,

[1]) Zu vgl. S. 22. — [2]) Zu vgl. S. 21, ferner S. 98. — [3]) Zu vgl. S. 4 und S. 63.

also ohne Luftraum, umsponnen, die Kabelseele bleibt ungetränkt, der Bleimantel enthält keinen Zinnzusatz. Die Kapazität dieser Kabel ist höher (0,080 oder 0,055 Mf für Einzel- oder Doppelleitung), als in den Luftraumkabeln. Dieser Umstand kann bei den nur kurzen Kabelenden unbedenklich vernachlässigt werden, zumal dafür ein Gewinn an äußerem Durchmesser und damit an Gewicht und Preis erreicht worden ist.

Wegen der zu Einführungszwecken bei Teilnehmersprechstellen verwendeten Kabel mit Faserstoffisolierung wird auf die Ausführungen im Abschnitt über isolierte Drähte hingewiesen (S. 124).

Ein besonderes Gebiet ist die Konstruktion von Fernsprechkabeln für den Fernverkehr. Im Bereich der R. T. V. sind solche auf längeren Strecken überhaupt noch nicht verlegt worden [1]). Für kürzere Strecken hat man jedoch bei schwierigen örtlichen Verhältnissen, wenn also die oberirdische Führung der Fernsprechverbindungsleitungen nicht mehr möglich war, vielfach die gewöhnlichen Kabel mit stärkeren Adern benutzt. Auf größere Entfernungen wirkt in ganz besonderem Maße die zunehmende Kapazität erschwerend auf die Sprechverständigung. Es muß also danach gestrebt werden, ihrem schädlichen Einfluß durch geeignete Maßnahmen nach Möglichkeit zu begegnen. Das Mittel hierzu bietet die Erhöhung der Selbstinduktion [2]), da die im Leiterkreise beim Durchgang der Sprechströme infolge der Selbstinduktion entstehenden Kraftlinien der Kapazität entgegenzuwirken geeignet sind. Die Erhöhung der Selbstinduktion bietet in zweifacher Richtung Vorteil: Sie hebt zunächst allmählich die Ungleichheiten in der Dämpfung der verschiedenen Amplituden auf, weil die Selbstinduktion, im Gegensatz zur Kapazität, den hochfrequenten Strömen größeren Widerstand entgegensetzt, es verschwindet also der dumpfe Kabelton; sie vermindert andererseits die Unterschiede in der Phasenverschiebung, so daß die Verzerrung der Sprache gemildert oder selbst ganz aufgehoben wird (zu vgl. S. 90).

Daß in Fernsprechkabeln, trotz ihrer hohen Gleichstromisolation, auch die Ableitung eine wichtige Rolle spielt, ist bereits auf S. 17 erwähnt worden. So wurde z. B. in Fernsprechkabeln mit 1000 Megohm Gleichstromwiderstand der Wert des Isolationswiderstandes gegen Wechselstrom von 2000 Perioden im Durchschnitt mit nur 0,1 Megohm — Ableitung also $10 . 10^{-6}$ — ermittelt [3]). Eine derartige Ableitung kann aber für Fernsprechkabel auf große Entfernungen nicht mehr als zulässig erachtet werden [4]). Die Bestrebungen zur Konstruktion solcher Kabel müssen daher diesen Punkt besonders berücksichtigen; unter Umständen wird man dem Einfluß der Ableitung auch wieder durch zweckmäßige Bemessung der Selbstinduktion begegnen können [5]). Auf die theoretische [2]) Seite dieser Frage kann hier nicht eingegangen werden,

---

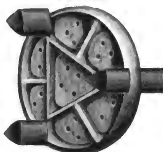
[1]) Namentlich in Amerika sind dagegen Fernleitungskabel (nach dem Pupinsystem) bereits in großem Umfange verlegt worden. — [2]) Näheres s. Breisig, Theoretische Telegraphie, im III. Teil. Allgemeines über Selbstinduktion zu vgl. auch S. 10 dieses Buches; ferner Baur, S. 128. — [3]) Nach Bela Bati, Die Messung dielektrischer Widerstände. Elektrotechnik und Maschinenbau 1908, Heft 13. — [4]) In den guten modernen Fernsprechpapierkabeln beträgt die Ableitung etwa 0,5 bis $1 . 10^{-6}$. Zu vgl. auch den am Schluß der Besprechung der Fernleitungskabel erwähnten Vortrag von Dr. Ebeling. — [5]) Näheres Lüschen, Über die wirksame Ableitung in Fernsprechkabeln usw. E. T. Z. 1908, S. 1105.

es sollen jedoch die praktischen Nutzanwendungen wenigstens kurz erörtert werden.

Zur Erhöhung der Selbstinduktion bieten sich drei Wege. Der erste besteht darin, die Entfernung zwischen den beiden Drähten einer Doppelleitung recht groß zu machen, da die Selbstinduktion einer Doppelader außer von der magnetischen Eigenschaft des die Drähte umgebenden Materials auch von der gegenseitigen Entfernung der beiden Drähte abhängt. Ferner kommt in Betracht, daß Luft magnetisch durchlässiger ist als Papier. Je weiter die Drähte auseinander liegen und je größer der Luftraum, d. h. je weniger Papier vorhanden ist, desto mehr wird die Selbstinduktion erhöht; gleichzeitig wird durch Vergrößerung des Luftraumes die Kapazität ermäßigt.

Die für solche besonderen Konstruktionen[1]) angewendeten Mittel lassen sich in zwei Gruppen teilen. Das eine Verfahren besteht darin, daß gezahnte oder besonders geformte Isolierbänder in offenen Schraubenlinien längs der Leiter oder um dieselben gelegt werden. Die Adern ruhen in den Ausschnitten und werden infolge der durch die eigenartige Konstruktion vermehrten Steifheit des Papiers auseinander gehalten. Bei dem anderen Verfahren werden die einzelnen Leiter durch Querwände aus isolierendem Material voneinander getrennt gehalten. Diese Scheiben stehen nicht miteinander in Verbindung, sondern sind nur, auf Kante stehend, zum mechanischen Tragen der Leiter in gewissen Abständen in das Kabel eingefügt. Die Adern werden entweder durch Löcher dieser Scheiben gezogen oder sie ruhen in Nuten der äußeren Ränder. Aus **Abb. 33** ist ein solches von Hultmann[2]) konstruiertes Kabel für Fernleitungszwecke zu ersehen. Bei 17 mm Zwischenraum zwischen den beiden Zweigen einer Doppelleitung und 28 mm zwischen zwei Adernpaaren ist die gegenseitige Kapazität solcher Adern bis auf 0,01 Mf herabgedrückt worden. Derartige Maßnahmen sind aber schon aus konstruktiven Gründen nur innerhalb gewisser Grenzen zulässig, außerdem wird auch durch diese Mittel eine nicht zu verkennende Störungsgefahr in das Kabel gebracht.

Abb. 33.

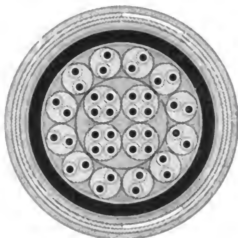


Der zweite Weg zur Erhöhung der Selbstinduktion besteht darin, den Kraftlinien die Möglichkeit zu geben, durch Eisen zu verlaufen. Man umgibt daher den Kupferleiter in enger Bewickelung mit feinem, magnetisch weichem Eisendraht[3]). Dieses Verfahren ist aber recht teuer und auch auf Drähte mit stärkerem Durchmesser beschränkt, da die Kapazität sonst verhältnismäßig wieder zu sehr zunehmen würde. Außerdem wirkt namentlich bei dünnen Drähten die damit verbundene Erhöhung des wirksamen Widerstandes schädlich, der gegenüber die Verstärkung der Selbstinduktion nicht viel ausmacht. Das Prinzip einer solchen stetig verteilten Selbstinduktion besteht darin, daß diese der längs des ganzen Kabels verteilten Kapazität

[1]) Näheres s. Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien 1904, Heft 22 (J. Schmidt) und 1905, S. 710; ferner E. T. Z. 1902, S. 430. — [2]) E. T. Z. 1905, S. 452. — [3]) Zu vgl. E. T. Z. 1901, S. 1047; 1902, S. 344; 1903, S. 746 und 875; 1908, S. 588. Weiter Breisig, S. 321; ferner Baur, S. 135, sowie Mitteilungen aus dem Telegraphen-Versuchsamt, Bd. IV und V.

überall gleichmäßig entgegenwirken soll. Solche eisenumsponnenen Kabel werden namentlich von der dänischen Verwaltung auf Betreiben ihres Chefingenieurs Krarup[1]) verwendet, sie stellen in ihrer theoretischen Anlage nach Anschauung Krarups das Ideal eines Fernleitungskabels dar. Diese Kabel erreichen aber mit denselben Kosten nicht den gleichen Wirkungsgrad wie die hierunter beschriebenen Spulenkabel; auch darf man die durch die Eisenbespinnung verursachte Erhöhung des wirksamen Widerstandes nicht vernachlässigen. **Abb. 34** zeigt ein solches dänisches Kabel von (4 × 4) + (12 × 2) Leitungen (Aderstärke 1,6 mm mit 8,7 Ohm Leitungswiderstand; Bespinnung 0,37 mm-Eisendraht; Luftraum-Papierisolation; Kapazität 0,06 Mf für die Doppelleitung).

Abb. 34.



Die R. T. V. läßt neuerdings in großen Städten solche Kabel zur Einführung von Fernlinien in die Ämter auf Entfernungen von wenigen Kilometern verlegen. Auf größere Entfernungen wird bei der R. T. V. in der Regel die billigere Spulenschaltung angewendet, da diese von einigen Spulenabständen ab wesentliche Vorteile bietet. Kürzlich ist jedoch auch auf einer längeren Strecke zwischen Düsseldorf und Ratingen (14 km), zugleich zu Vergleichs- und Versuchszwecken, ein Eisenhüllenkabel verlegt worden, dessen Konstruktion, kurz zusammengefaßt, die folgende ist: Die Leiter bestehen aus 1,2 mm-Kupferdraht, sie sind einzeln mit 0,2 mm starkem Eisendraht spiralförmig eng bewickelt und mit einem Papierstreifen in Dreiecksfaltung hohl umgeben, je zwei Adern sind durch ein Papierband zusammen verdrillt; die Adernpaare sind konzentrisch verseilt, mit Nesselband umwickelt und dann mit einem Bleimantel umpreßt. In elektrischer Beziehung werden an das Kabel für 1 km Schleife bei 15° C und 1000 Perioden folgende Anforderungen gestellt: Wirksamer Widerstand 32,0 Ohm; gegenseitige Kapazität 0,050 Mf; Selbstinduktanz 0,008 H. Die Bedingungen für Gleichstrom sind 30,5 Ohm und 0,052 Mf; der Isolationswiderstand soll 1000 Megohm betragen.

Das dritte, in der Praxis am meisten verwendete Mittel zur Erhöhung der Selbstinduktion in Fernsprechkabeln besteht in der Einschaltung von Selbstinduktionsspulen in die Leitungen. Es wird an Stelle verteilter Selbstinduktion solche so zu sagen punktförmig zugeführt. Diese bereits seit längerer Zeit bekannte Methode ist erst Ende des vorigen Jahrhunderts von dem Amerikaner Pupin[2]) mathematisch erklärt und durch Berechnung der Größen und gegenseitigen Abstände der Spulen praktisch verwertbar gemacht worden. Die Spulen bringen also nur Selbstinduktion, nicht aber wie bei stetiger Verteilung auch noch wesentliche Kapazität in die Leiterkreise hinein. Derartig mit Selbstinduktion in richtiger Weise belastete Leitungen gewähren infolge

[1]) Krarup referierte hierüber in einem Vortrage auf dem Internationalen Kongreß der Telegraphentechniker, Budapest 1908. — [2]) Zu vgl. E. T. Z. 1902, S. 1059; Blätter für Post und Telegraphie, I. Jahrgang, S. 21 und 83; näheres zu ersehen aus dem mehrfach erwähnten Werk von Breisig, S. 323 ff.

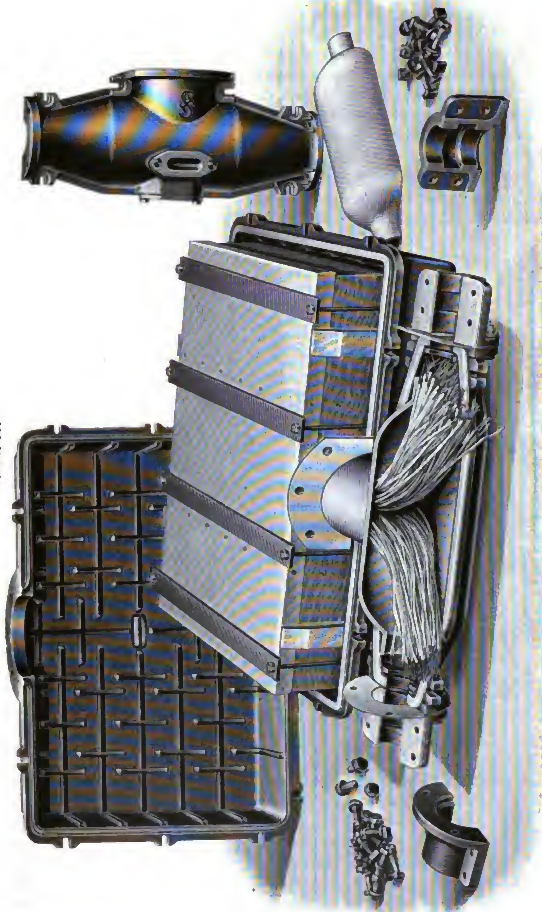


Abb. 35.

der ganz erheblichen Erhöhung [1]) dieses Faktors bei gleichem Kupferquerschnitt auf mehrfache Entfernung des Bereiches gewöhnlicher Kabel eine gute Sprechverständigung. Man kann aber nicht durch fortgesetzte Steigerung der Selbstinduktion eine Sprechverständigung auf beliebige Entfernung erreichen, weil mit der zunehmenden Vergrößerung der Selbstinduktion wieder unerwünschte Erscheinungen auftreten und gleichzeitig auch der Ohmsche Widerstand wächst, so daß unter Umständen schließlich der durch die Selbstinduktion erzielte Vorteil wieder aufgehoben werden könnte.

Die Spulen [2]) bestehen aus sehr dünnem Kupferdraht, der über einen fein verteilten Eisenkern auf ausgezeichnete Isolierkörper gewickelt ist; sie werden als Doppelspulen für jedes Adernpaar in größerer Zahl in eisernen Kästen montiert und dann in die Kabellinien in entsprechenden Abständen eingeschaltet [3]). Anfang und Ende jedes Spulendrahtes sind mit Gummiadern

Abb. 36.



verbunden, deren andere Enden zur Verbindung der Spulen mit den Fernsprechkabeladern durch eine Nummernplatte hindurch aus dem Kasten herausgeführt werden. Der eiserne Spulenkasten endet vorn in einer mit Bleimantel ausgefütterten Muffe. **Abb. 35** zeigt einen geöffneten Spulenkasten neuester Form von Siemens u. Halske, **Abb. 36** denselben Kasten in geschlossenem Zustande. Die Kästen haben ein sehr großes Gewicht. Infolgedessen wird bei hochpaarigen Kabeln die Pupinierung nicht in einem einzigen Kasten vorgenommen, sondern es werden die Kabeladern abteilungsweise in mehreren solcher Spulenkästen beschaltet.

Um den Ausbau und die praktische Verwertung der Pupinschen Theorie hat sich namentlich die Firma Siemens u. Halske, die für den europäischen Kontinent das Patent Pupins erworben hat, besondere Verdienste er-

---

[1]) Zu vgl. das mehrfach erwähnte Werk von Breisig. — [2]) Baur, S. 141. — [3]) Wegen der Einschaltung der Spulenkästen zu vgl. Abschnitt VII über die Spleißung von Kabeln.

worben, wobei sie allerdings in ausgiebigstem Maße von der R. T. V. unterstützt worden ist. Der erste Versuch fand im Jahre 1902 an dem 32,5 km langen Fernsprechkabel Berlin-Potsdam statt und zeitigte derartig günstige Ergebnisse, daß sofort der außerordentlich praktische Wert dieser Einrichtung festgestellt werden konnte. Der durchschnittliche Spulenabstand beträgt in diesem Kabel rund 1300 m; **Abb. 37** zeigt einen dieser ersten Spulenkästen mit freigelegten Spulen. Die genannte Firma fertigt neuerdings für Zwecke der Pupinierung besondere Kabel[1]) mit niedriger Ableitung[2]) an, in denen je zwei Adern in besonderer Ausführung und Anordnung noch einmal mit Papierstreifen zu einem Adernpaar gemeinsam verseilt werden. Die elektrischen Eigenschaften dieser Kabel sollen bei Lieferung an die R. T. V. nach den jetzt gültigen Bedingungen für die Adern mit 0,9 und 1,2 mm starken Leitern betragen: Leitungswiderstand höchstens 28 und 16 Ohm; Gleichstromkapazität höchstens 0,055 und 0,060 Mf für die Einzelader oder 0,037 und

Abb. 37.



0,040 für die Doppelader; Isolationswiderstand gleichmäßig 500 Megohm. Die Pupinspulen können aber auch in Fernsprechkabel anderer Herkunft eingeschaltet werden, wenn diese vorher kein Mitsprechen zeigen.

Pupinierte Kabel sind in Europa namentlich in Deutschland verwendet worden; die Einzellängen betragen jedoch im allgemeinen nur etwa 20 bis 30 km. Dagegen sind in Nordamerika derartige Kabel mit gutem Erfolg auf weit über 100 km verlegt worden.

Dr. Ebeling[1]) von der Firma Siemens u. Halske hat kürzlich in einem Vortrage die Möglichkeit erörtert, Pupinkabel bis auf 1000 km zu verlegen. Auf Grund theoretischer Erwägungen und von Laboratoriumsversuchen ist er zu der Überzeugung gekommen, daß der Fernsprechbetrieb sich bei zweckmäßiger Einschaltung der Spulen und bei geeigneter Konstruktion der Kabel — es soll namentlich auf wesentliche Herabminderung des Einflusses der Ableitung Bedacht genommen werden — auch auf sehr große Entfernungen annähernd

[1]) Zu vgl. den hiernach besprochenen Vortrag von Dr. Ebeling im Elektrotechn. Verein zu Berlin am 25. Januar 1910; näheres s. E.T.Z. 1910. — [2]) Siehe S. 104.

ebenso günstig wie in oberirdischen Leitungen abwickeln lassen werde. Nun hat Ebeling aber bei seinen Berechnungen den wechselnden Einfluß der Witterung und der Fremdgeräusche auf die Leistungen in den oberirdischen Leitungen zugunsten der Kabel wohl etwas reichlich angesetzt. Es wird im Kabel mit seiner dauernd gleichmäßigen Leistung und namentlich bei dem Fortfall von störenden Nebengeräuschen gegenüber Freileitungen immerhin ein gewisser Zuschlag zu der Dämpfung zugestanden werden können. Die Verminderung der Lautstärke darf aber nicht so weit getrieben werden, daß die Sprechverständigung gegenüber derjenigen in den oberirdischen Leitungen wesentlich beeinträchtigt wird. Mehr als etwa 20 bis 25 v. H. Verschlechterung in dieser Beziehung wird kaum zuzulassen sein, wenn nicht nur versuchsweise, sondern auch im praktischen Betriebe eine ausreichende kommerzielle Sprechverständigung, relativ gleichwertig mit derjenigen in den starken oberirdischen Leitungen, gewährleistet werden soll. Die von Ebeling angegebenen Dämpfungskonstanten für die neuen Fernsprechkabel von Siemens u. Halske mit 3 mm - Leitern scheinen allerdings einer solchen Bedingung ziemlich nahe zu kommen, doch werden namentlich die wirtschaftlichen Voraussetzungen Ebelings noch einer sorgfältigen Nachprüfung bedürfen. Zweckmäßig ist aber jedenfalls sein Vorschlag, im allgemeinen für größere Entfernungen gemeinsame [1]) Kabel für Telegraphen- und Fernsprechzwecke zu verwenden und nur in besonders starken Linien getrennte Kabel zu verlegen.

Recht bemerkenswert sind die Schlußfolgerungen Ebelings über die Verwendung von Fernsprechkabeln für den Fernverkehr; er faßt diese etwa folgendermaßen zusammen:

1. Die Sprechverständigung bleibt regelmäßig die gleiche.

2. Der Betrieb ist von äußeren Witterungseinflüssen unabhängig.

3. Das Mitsprechen wird beseitigt.

4. Es entsteht kein Einnahmeausfall durch Leitungsstörungen.

5. Die Instandsetzungskosten und die laufenden Unterhaltungskosten sind auf ein Minimum beschränkt.

6. Infolge der gleichmäßigen und jederzeit gewährleisteten Sprechverständigung wird der Sprechverkehr voraussichtlich zunehmen und damit höhere Einnahmen bringen.

7. Doppelsprechschaltungen [2]) lassen sich in Kabeln erheblich besser als in oberirdischen Leitungen betreiben; es können also Drähte gespart werden.

8. Schließlich stellt auch der bei Abbruch der vorhandenen oberirdischen Leitungen zu gewinnende Bronzedraht einen beträchtlichen Materialwert dar.

Diesen Sätzen wird man sich ohne Bedenken anschließen können. Die Durchführung der Vorschläge ist aber erst dann in den Bereich praktischer Erwägungen gerückt,

a) nicht nur wenn Kabel mit genügender Sprechfähigkeit konstruiert sein werden,

---

[1]) Zu vgl. die Ausführungen bei Besprechung der Papiertelegraphenkabel, S. 88. — [2]) Zu vgl. S. 99.

b) sondern auch wenn die einmaligen Herstellungskosten im Vergleich zu den mit annähernder Gewißheit zu erzielenden Minderausgaben und Mehreinnahmen und zu den sonstigen Vorteilen gegenüber den oberirdischen Leitungen in einem wirtschaftlich zulässigen Verhältnis stehen.

Gummikabel [1]).

Die Faserstoff- und Papierkabel sind außerordentlich empfindlich gegen Feuchtigkeit, sie bedürfen daher zum Abschluß und zur Verbindung mit den weiterführenden Leitungen an ihren Enden der Anschaltung eines besonderen Kabels, welches den Zutritt von Feuchtigkeit in die Hauptkabel sicher verhütet und selbst von den atmosphärischen Einflüssen möglichst wenig angegriffen wird. Da Guttapercha wegen ihrer sehr geringen Luftbeständigkeit und des hohen Preises nicht in Frage kam, so wurde der Kautschuk gewählt. Die Gummikabel haben, wie auch die Guttaperchakabel, vor den Gespinst- und Papierkabeln den sehr bemerkenswerten Vorzug fest umpreßter Adern, also fugenloser Isolierhüllen.

Gummikabel werden wegen ihrer hohen Kapazität und Kosten für längere Strecken im allgemeinen nicht mehr verwendet. Nur im Anfang der Kabeltechnik sind versuchsweise solche Kabel auf größere Entfernungen verlegt worden; mit Gummi isolierte Adern und Kabel werden allerdings auch jetzt noch zu besonderen Zwecken, z. B. in kleineren abgeschlossenen Betrieben und im Feldtelegraphendienst, mit Vorteil benutzt.

Die Gummikabel sind in der Regel mit einem Bleimantel versehen, doch werden auch Kabel mit einer durch wetterbeständige Masse getränkten äußeren Gespinstumklöppelung mit gutem Erfolge verwendet. Der Bleimantel ist bei Kabeln mit Gummiisolation, wenn auch an sich zweifellos der sicherste Schutz, so doch nicht in jedem Falle unbedingt notwendig und überhaupt allgemein nicht so wichtig, wie bei Kabeln mit Papier- oder Faserstoffisolierung. Gummi braucht in der Hauptsache nur einen Schutz gegen Luft und Licht und gegen gewisse Chemikalien; diese kommen aber bei Telegraphen- und Fernsprechkabeln nicht in Betracht. Ein wirksamer Schutz gegen Luft und Licht läßt sich für die Gummiadern in geeigneten Fällen auch mit Mitteln erreichen, die z. B. für deren praktische Verwendung teilweise vorteilhafter sind als Blei. Kabel mit Bleimantel lassen sich, wenn der Mantel nicht einknicken soll und selbst wenn dieser ohne Zinnzusatz und eng anschließend ist, nur bis zu einem bestimmten Grade biegen, sie sind schwer und daher wenig handlich, auch teurer als die gleichen Kabel mit Gewebemantel. Es wird deshalb unbedenklich sein, dort, wo die Gummikabel größeren mechanischen Beschädigungen durch die Art der Verlegungsarbeiten entzogen und nicht dauernd Einwirkungen ausgesetzt sind, die eine Zersetzung der Gespinstfaser herbeiführen (dauernde Feuchtigkeit ohne Luftwechsel), und wo es schließlich auch auf eine Gewichtsverringerung ankommt, an Stelle des Bleimantels einen gut getränkten Gespinstmantel zuzulassen. Hinsicht-

[1]) Allgemeine interessante Angaben [entsprechend denjenigen für Guttaperchakabel (s. Anm. 2, S. 76)] sind in dem erwähnten pocket-book von Munro and Jamieson, S. 355a—e, enthalten; ferner bei Coyle and Howe, S. 128 ff.

lich der Umspinnung selbst muß aber darauf gehalten werden, daß die Tränkung mit einer durchaus wetterbeständigen und dauerhaften Masse (Ozokerit usw.) derart vorgenommen wird, daß diese die Zwischenräume zwischen den einzelnen Fäden vollkommen ausfüllt und das ganze Gewebe reichlich bedeckt, daß sie nach dem Trocknen nicht nennenswert klebt und durch die Einflüsse der Witterung nicht ausgewaschen wird.

Die Konstruktion von Gummikabeln soll nachstehend an der Hand der Vertragsbedingungen der R. T. V. für die Lieferung der sogenannten wetterbeständigen Telegraphen- und Fernsprechabschlußkabel erläutert werden. Wegen der allgemeinen Eigenschaften des Materials wird auf die entsprechenden Ausführungen im Abschnitt II hingewiesen.

Der Leiter besteht für die Fernsprech- oder Telegraphenkabel aus 0,8 oder 1,5 mm starkem massiven Kupferdraht. Da der Schwefelgehalt des vulkanisierten Gummis nachteilig auf das Leitungskupfer einwirken würde, so erhalten die Kupferadern eine doppelte Feuerverzinnung. Die Kupferseele wird bis zu einem äußeren Durchmesser von 2,5 mm für Fernsprechkabel und von 3,4 mm für Telegraphenkabel mit einer wasserdichten, gleichmäßigen Gummi- oder Okonithülle konzentrisch umpreßt, und zwar entweder mit drei Lagen Gummi oder einer Lage Okonit; außerdem werden für Fernsprechzwecke noch dünnere Adern mit nur zwei Gummischichten und einem Durchmesser von 2 mm geliefert.

Wie die Praxis ergeben hat, sind die besten Erfolge bisher erzielt worden mit einer Lage aus Naturgummi und zwei Lagen aus vulkanisiertem, also mit Schwefelzusatz versehenem Gummi. Diese Konstruktion ist daher auch jetzt allgemein vorgeschrieben. Die Verwendung des Rohgummis (technisch reiner Paragummi) als innerste Schicht hat den Zweck, auf jeden Fall eine Schwefeleinwirkung auf den Leiter zu verhüten. Da Naturgummi leicht Wasser absorbiert, andererseits aber bei Fernhalten von Feuchtigkeit hohe Isolation bewahrt, so ist auch schon aus diesen Gründen die Aufbringung einer solchen Schicht unmittelbar auf die Kupferader gegeben, zumal die innersten Schichten der Isolierhüllen den Hauptanteil zu dem Isolationswert beitragen (zu vgl. S. 13). Die äußere Schicht muß so zusammengesetzt sein, daß sie möglichst widerstandsfähig gegen Feuchtigkeit und atmosphärische Einflüsse ist. Die zwischenliegende Separatorschicht soll den beim Vulkanisieren aus der Außenschicht übertretenden Schwefel aufnehmen, ohne ihn auf die untere Reingummischicht zu übertragen [1]). Die Stärke der inneren Paraschicht ist für Telegraphenkabel auf 0,3 mm, für Fernsprechkabel auf 0,25 mm festgesetzt. Die beiden vulkanisierten Schichten müssen nach den Vorschriften der R. T. V. mindestens 45 v. H. reinen Paragummi enthalten, sie dürfen sich nach der Vulkanisation nicht voneinander trennen lassen und sollen durch eine abweichende Färbung von der innersten Lage unterschieden sein. Der Grad ihres Schwefelgehaltes und die Stärke der einzelnen Lagen werden, unter Einhaltung des festgesetzten äußeren Aderdurchmessers, von den Fabriken selbst gewählt.

[1]) Die innere Schicht stellt also die eigentliche Isolierung dar, die äußeren Lagen sollen in der Hauptsache die innere Hülle wetterbeständig abschließen. Tatsächlich wird aber bei der Vulkanisation der fertigen Adern auch in die innere Schicht ein wenig Schwefel gebracht, doch ist dieser Zusatz hinsichtlich der Isolierfähigkeit dieser Lage praktisch ziemlich zu vernachlässigen.

Zum Schutz des Gummis gegen die Einflüsse von Licht und Luft, namentlich gegen Oxydation, die es hart und brüchig macht, sowie auch aus technischen Fabrikationsgründen zur Sicherung der Gummihülle beim Verseilen der Kabel wird die Gummiader mit einem Isolierband umwickelt. Dieses Band soll auf der Innenseite mit einer Gummimischung von mindestens 45 v. H. reinem Paragummi überzogen sein, es muß fest auf der Isolierschicht haften und diese unter Überlappung auf der ganzen Länge dicht umschließen. Das Band wird vor dem Vulkanisieren aufgebracht, damit es sich recht innig mit der Gummihülle verbindet. Die *a*- und *b*-Adern der Fernsprechdoppelleitungen, die einen Drall von 10 cm haben sollen, werden durch verschiedene Färbung (in der Regel rot und schwarz) kenntlich gemacht, außerdem ist allgemein in jeder Adernlage eine Ader zu Zählzwecken besonders zu bezeichnen. Die Isolierbänder werden nach der Vulkanisation noch mit einem Überzuge von Ceresin versehen, um die einzelnen Adern möglichst wetterbeständig zu machen.

Das Band dient also neben dem Abschluß der Gummiadern gegen Licht und Luft zugleich noch als Träger für einen Imprägnierstoff, der wieder diesen Schutzmantel gegen äußere Einflüsse schützen soll. Aber selbst solche besonderen Vorsichtsmaßregeln können nicht verhüten, daß im Laufe der Zeit die vereinzelt durch die Deckschicht hervorragenden feinen Fäden des Gewebes Feuchtigkeit ansaugen und diese nach und nach auch den Gummiadern mitteilen, so daß also auf die Dauer die Isolierfähigkeit freihängender, nicht durch einen äußeren Mantel geschützter Gummiadern nicht gleichmäßig erhalten bleiben wird. Auch verwittern die Imprägniermassen allmählich an der Luft unter der Einwirkung von Licht, Wärme und Feuchtigkeit, die Bänder werden schließlich doch mehr oder weniger ausgewaschen und bieten dann für die einzelnen Drähte kaum noch einen nennenswerten Schutz (zu vgl. S. 128). Die Bandbewickelungen haben also dauernden Wert nur dann, wenn sie vollständig abgeschlossen gegen äußere Einflüsse sind.

Der äußere Durchmesser der mit Band bewickelten Adern soll bei Telegraphenkabeln 4 mm, bei den Fernsprechkabeln 3,1 und 2.5 mm betragen. Die Zahl der Adern eines Kabels schwankt zwischen 8 und 112. Die Ausfüllung der Lücken im Kabel zwischen den einzelnen Adern erfolgt durch Hanfseilchen (s. S. 22). Solche Einlagen werden aber möglichst zu beschränken und nur in einem solchen Umfange einzufügen sein, wie es die Verseilung gerade erfordert. Sie wirken nämlich unter Umständen wie Dochte und können dadurch Feuchtigkeit in die abschließenden Lötstellen und in die Hauptkabel hineinbringen.

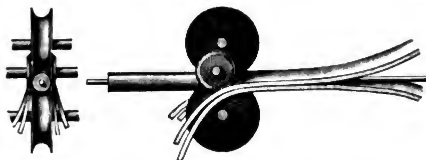
Die ganze Kabelseele wird mit einem Kennfaden (s. S. 81) und mit einem durch Tränkung in Compoundmasse wasserdicht gemachten Isolierbande fest umwickelt und darauf mit einem Bleimantel von 1,2 bis 2 mm Stärke ohne Zinnzusatz nahtlos umgepreßt.

Die Fernsprechkabel können nach den Lieferungsbedingungen der R. T. V. an Stelle des Bleimantels mit einer dicht geflochtenen und ausreichend getränkten Beklöppelung aus starkem Baumwollgarn versehen werden. Hinsichtlich der Benutzung der Gummikabel für Fernsprechzwecke bestehen bei der R. T. V. keine bestimmten Vorschriften darüber, in welchen Fällen Kabel mit Bleimantel oder mit Beklöppelung zu verwenden sind, hierfür bleiben —

unter Berücksichtigung der oben gegebenen allgemeinen Hinweise — lediglich die besonderen örtlichen Verhältnisse maßgeblich. Für die Kabelaufführungspunkte in Fernsprechnetzen wird allerdings in der letzten Zeit in der Regel von siebenpaarigen Gummikabeln mit Gespinstumhüllung, also ohne Bleimantel, Gebrauch gemacht; einzelne Fabriken versehen auch in diesen Kabeln die Gummiadern anstatt mit Gummibandumwickelung mit einer beständigeren getränkten Umklöppelung. Diese Konstruktion hat sich nach den bisherigen Erfahrungen hinreichend bewährt und wird auch vielleicht für manche andere Verwendungszwecke von gummiisolierten Kabeln zweckmäßig sein.

Die elektrischen Eigenschaften der Gummikabel der R. T. V. sollen nach den Vertragsbedingungen für 1 km Kabellänge bei 15° C folgende sein: a) für Fernsprechkabel: Leitungswiderstand höchstens 37 Ohm; Isolationswiderstand für die schwächeren 2,5 mm-Adern mindestens 200, für die stärkeren 3,1 mm-Adern 250 Megohm; Kapazität (zu vgl. die Formel auf S. 14) höchstens 0,28 und 0,20 Mf für Einzelleitung, sowie 0,20 und 0,15 Mf für Doppelleitung; b) für Telegraphenkabel entsprechend 10 Ohm, 200 Megohm

Abb. 38.



und 0,34 Mf. Die elektrische Festigkeit der 3,1 mm starken Fernsprechadern gegen Wechselstrom ist durch Versuche auf 9000 Volt[1]) ermittelt worden.

Von ganz wesentlicher Bedeutung für die Güte und Lebensdauer der Gummikabel ist die Art der Aufbringung[2]) des Gummis auf die Leitungsadern. Wenn man von dem früher geübten Verfahren der Umwickelung mit Gummibandstreifen (Gummibanddrähte) absieht, so kommen für die Gummiaderdrähte zwei verschiedene Verfahren zur nahtlosen Umpressung der Ader mit der Gummimasse in Betracht: Man verwendet entweder die Schlauchmaschine oder die Walzenmaschine; sie werden nach der Art ihres Arbeitens auch als Spritz- und Longitudinalmaschinen bezeichnet.

Das Spritzverfahren ist das ältere, es ist billiger in der Konstruktion der Maschine und in der Bedienung, liefert jedoch in der Regel weniger gute Ware und wird deshalb für Telegraphen- und Fernsprechkabel nur selten angewendet. Das Prinzip einer Schlauchmaschine ist ähnlich wie dasjenige der in Abb. 14 schematisch dargestellten Guttaperchapresse. Der Kupferleiter wird durch eine sich konisch verjüngende Hülse gezogen, wobei gegen dessen Öffnung gleichzeitig von den Seiten durch einen Schneckengang fein zerteiltes angewärmtes Gummi gedrückt, um den Draht herumgepreßt und mit diesem aus der Maschine gewissermaßen herausgespritzt wird. Die Maschine liefert nur eine Lage Gummi. Diese Methode erfordert eine möglichst plastische, nicht zu gummireiche Mischung, da das Material zum Durchdrücken dünn

[1]) Bei 100 Perioden. — [2]) Zu vgl. Wietz, S. 54 ff. und Baur, S. 213 ff.

und breiig sein muß. Das gute Paragummi ist zu zähe für solche Maschinen; das Fabrikat ist also geringwertiger. Mit einer derartigen Aufbringung der Gummihülle ist auch die Gefahr verbunden, daß der Draht in der Isolierschicht eine exzentrische Lage erhält.



Abb. 39.

Das Prinzip des Longitudinalverfahrens wird durch **Abb. 38** erläutert. Bei dieser Art der Arbeitsausführung wird ober- und unterhalb des zu isolierenden Drahtes je ein Kautschukstreifen der Länge nach durch die gezeichnete Vorrichtung getrieben. Hierbei werden die Bänder durch zwei Rollen an den horizontal eingespannten und vorwärts gezogenen Leitungs-

draht gepreßt und die überstehenden Ränder durch zwei Kreismesser abgeschnitten. Aus der Walze tritt ein vollständig runder, mit einer Lage Gummi isolierter Draht hervor, die frischen Schnittflächen kleben fest aneinander. Der Draht läuft dann durch eine zweite und unter Umständen dritte Walze weiter vorn auf der Maschine, es kann also in einem Gange eine Leitungsader nacheinander mit mehreren Lagen Gummi umpreßt werden. Außerdem können bei Anbringung mehrerer Zugvorrichtungen nebeneinander auch mehrere Drähte gleichzeitig fertiggestellt werden, so daß diese Methode, obwohl sie kompliziertere Maschinen und mehr Personal erfordert, erheblich leistungsfähiger und wirtschaftlicher ist. **Abb. 39** zeigt die Ansicht einer Longitudinalmaschine für zweifache Gummischicht. Im Gegensatz zur Schlauchmaschine gestattet eine solche Maschine die Verarbeitung besserer Mischungen. Sie erfordert sogar besseres Material, da nur dieses sich in die für die Aderumpressung erforderlichen dünnen Bänder auswalzen läßt, ohne die Festigkeit und Elastizität zu verlieren, welche der Durchgang durch die Walzen verlangt, und weil bessere Gummimischungen höhere Klebefähigkeit zur Bildung der nahtlosen Hülle besitzen.

Nach dem Aufbringen der Gummilagen erfolgt zunächst noch die Bandumwickelung und darauf die Vulkanisation[1]) der fertigen Adern. Von einzelnen Fabriken wird die Umwickelung der fertigen Gummiader mit dem Gummibande unmittelbar im Anschluß an die Gummiumpressung, also in einem Arbeitsgange ausgeführt; dieses hat den Vorteil, daß die Rohgummiader nicht erst noch wieder auf- und abgetrommelt zu werden braucht und dadurch mehr geschont werden kann.

Systemkabel.

Unter Systemkabeln versteht man die zur inneren Einrichtung der Fernsprechämter gehörigen Kabel, welche vom Umschaltegestell aus zu den Umschaltern und Vielfachschränken, durch diese hindurch, sowie zu den Relais und Sicherungen geführt sind.

Die Konstruktion der Systemkabel ist im allgemeinen etwa folgende: Die Adern, die einzeln mit einer, zum Teil auch noch imprägnierten Isolierhülle aus verschiedenartigen Stoffen lagenweise bewickelt sind, werden gemeinsam verseilt und mit einer Bandbedeckung versehen. Hierüber wird eine Baumwollbeklöppelung gebracht, die einen flammensicheren Anstrich erhält.

Als Material für die Isolierung der Leitungsadern kommen Gummi, Wolle, Baumwolle und Seide in Betracht. Die allgemeinen Eigenschaften von Gummi und Seide sind bereits im zweiten Abschnitt behandelt worden. Gummi ist zwar an und für sich ein gutes Dielektrikum, es ist aber feuergefährlich, teuer und beansprucht verhältnismäßig viel Raum. Außerdem wird es mit der Zeit an der Luft brüchig und zeigt noch den Übelstand, daß es beim Anschneiden der Adern auf eine größere Strecke zurückrutscht. Es ist auch zu berücksichtigen, daß Gummi sich auf den dünnen, nur 0,6 mm starken Kupferleiter nur schwer ganz dicht aufbringen läßt, so daß leicht Lufthohlräume zwischen Leiter und Isolierhülle bleiben, durch die Feuchtigkeit eindringen könnte.

---

[1]) Zu vgl. S. 55.

Die Baumwolle ist das etwa 5 cm lange Samenhaar der Baumwollpflanze, eines Gewächses der Gattung Gossypium aus der Familie der Malvaceen. Das gereinigte Rohmaterial wird in Spinnereien zu Garn verarbeitet und aufgespult. Das Garn wird nach Nummern, die bestimmte Gewichte für 1 m Länge darstellen, in den Handel gebracht und unter diesen Bezeichnungen als Umspinnungsmittel der Kabeladern in den Verträgen bezeichnet. Je höher die Nummer, desto größer ist die Länge für die Gewichtseinheit, desto dünner wird also der Faden. Zwirn ist ein aus mehreren Garnen zusammengedrehter Faden. Dieser ist stärker und gleichmäßiger als ein Garn gleicher Dicke; er wird auch mehrfach verseilt hergestellt. Ein besonders präpariertes Baumwollgarn ist das auch in der Kabelpraxis verwendete Eisengarn, zuweilen Glanzgarn genannt. Dieses ist ein Faden aus zusammengedrehten kürzeren Fasern, der durch eine besondere Appretur (z. B. durch Teerprodukte) ein einheitliches Gefüge erhält; hierdurch wird er widerstandsfähiger als gewöhnlicher Baumwollzwirn, der nur aus mehreren langen Garnen lose verdrillt ist.

Baumwolle ist wie jede andere Pflanzenfaser sehr hygroskopisch, sie ist also allein ohne Imprägnierung für Isolationszwecke unbrauchbar. Aber auch getränkte Baumwolle ist nach den Erfahrungen der Praxis nicht sehr zu empfehlen, namentlich nicht für solche Kabel, die der Feuchtigkeitsaufnahme ausgesetzt sind. Baumwollgarn oder Zwirn finden jedoch als Zwischenlage zur mechanischen Verstärkung der anderweit isolierten Systemkabel vielfach Verwendung; der Einfluß der hygroskopischen Baumwolle auf die darunterliegenden Schichten wird durch Imprägnierung zu mildern gesucht. Als Nachteil der Baumwolle wird noch angegeben, daß sie nicht ganz frei von Säuren ist, welche sie selbst oder ihre Imprägnierung allmählich mit Kupferoxyd durchsetzen [1]). Die Dielektrizitätskonstante der Baumwolle ist ziemlich hoch und entspricht etwa derjenigen der übrigen festen Isolierstoffe, sie ist aber höher als die von Seide und Wolle. Zuverlässige vergleichende Zahlenangaben sind in der Literatur nicht zu finden. Es ist aber im Grunde nicht von Belang, ob diese Konstante ein wenig größer oder kleiner ist, da die Kapazität in den Systemkabeln eine geringere Bedeutung hat als die Isolation.

Wolle ist wie die Seide ein animalisches Produkt, sie saugt aber mehr Feuchtigkeit auf als Seide und isoliert daher schlechter. Die Verschiedenheit der Seide und Wolle ist wahrscheinlich auf ihre verschiedene Struktur zurückzuführen. Während der Seidenfaden aus zwei aneinander geleimten dünnen Fäden besteht, hat das Wollhaar das Aussehen von ineinander gesteckten Düten, so daß an jeder Faser viele Zwischenräume für eindringende Feuchtigkeit vorhanden sind. Über Seide gewickelte Wolle teilt infolge des festen Aufliegens dieser ihre aufgenommene Feuchtigkeit mit und drückt so das Isolationsvermögen der Seide fast auf das eigene herab; dieses gilt noch in verstärktem Maße von der Baumwolle. Da Wolle dem Angriff der Motten und Mäuse ausgesetzt ist, wird sie als Kabelbespinnungsmaterial wenig verwendet. Sie trägt außerdem mehr auf als Baumwolle.

---

[1]) Nach Turner u. Hobart, Die Isolierung elektrischer Maschinen, Berlin 1906, S. 66.

Das zweckmäßigste, wegen seiner ausgezeichneten isolierenden Eigenschaften fast ausschließlich zur Umspinnung der Kupferadern verwendete Material ist die Seide. Meistens wird die Tussahseide (s. S. 67) gewählt. Seide ist sehr leicht und dünn, trägt also wenig auf und hat infolge ihrer natürlichen Beschaffenheit, da sie aus langen Einzelfäden besteht, eine große Festigkeit. Über die isolierende Seidenlage kommen, sofern nicht ausnahmsweise die teueren Reinseidenkabel bevorzugt werden, noch andere Bespinnungen aus Baumwolle, Papier oder Wolle. Das eigentliche isolierende Material bleibt jedoch die Seide, welche in breiten Strähnen dicht deckend auf dem Leiter liegt, die anderen Stoffe dienen hauptsächlich als mechanischer Schutz.

Für Systemkabel haben bei der R. T. V. bis vor kurzem noch keine allgemein gültigen Lieferungsbedingungen bestanden, wie sie den Fabrikanten sonst für alle anderen Kabelarten auferlegt werden. Infolgedessen wurde eine große Anzahl verschiedener Kabeltypen verwendet, von denen viele allerdings nach den heutigen Erfahrungen nicht mehr als zweckmäßig angesehen werden würden.

Die Untersuchungen[1]) zur Festlegung allgemeiner Grundsätze für die Konstruktion solcher Kabel sind recht schwierig und umfangreich, da verschiedene Isolierungsmöglichkeiten in Betracht kommen, und da außerdem die eigenartigen Verhältnisse der Betriebsräume mit ihrem veränderlichen Feuchtigkeitsgehalt und der wechselnden Temperatur berücksichtigt werden müssen. Man kann nach sorgfältigen Ermittelungen den höchsten relativen Feuchtigkeitsgehalt etwa mit 90 v. H. und die mittlere Temperatur mit 20° C annehmen. Auch die Verlegungsweise der Kabel, die mit Holz und Metallteilen vielfach in Berührung kommen, muß in Betracht gezogen werden.

Ausschlaggebend für die Auswahl der Fabrikate ist schließlich jedoch die Feststellung, wie sie sich nach der Betriebsausformung der Kabelenden verhalten. Hierbei sind folgende Stadien zu unterscheiden:

a) Das Kabel ist aufgeschlossen und mit Wachs getränkt;
b) das Kabel ist ausgeformt;
c) das Kabel ist abgebunden;
d) das Kabel ist an die Klemmen oder die Klinken angelötet.

In der Praxis interessiert hauptsächlich der letzte Zustand, doch geben auch die Messungen an den Zwischenstadien manche wichtige Hinweise. Zur Festlegung der einzelnen Adern an die Klemmen und Klinken wird die Kabelseele auf eine entsprechende Länge bloßgelegt, an den Abzweigstellen einzelner Adern werden die übrigen mit Fäden abgebunden, bis das immer dünner werdende Kabel schließlich in wenige Adern ausläuft.

An die Isolation der Systemkabel im ausgeformten und verlegten Zustande können nur erheblich geringere Anforderungen gestellt werden, als sie bei den sonstigen Telegraphen- und Fernsprechkabeln beansprucht werden, denn die Isolation der Systemkabel sinkt naturgemäß mit der forschreitenden Betriebsausformung. Während man von dem noch nicht aufgeschlossenen Kabel unbedenklich Isolationswerte von mindestens 200 Megohm fordern kann, fällt die Isolation mit den einzelnen Stadien der Ausformung erheblich ab.

[1]) Ausführliche Darlegungen über „Untersuchungen an Systemkabeln" von Schuler sind enthalten in Bd. IV, Aufsatz 60 der Mitteilungen aus dem Telegraphen-Versuchsamt (zu vgl. E. T. Z. 1905, S. 421).

Die R. T. V. hat zunächst im Jahre 1905 als allgemeine Anforderung an Systemkabel bei den oben angegebenen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen als Mindestisolation der ausgeformten und angelöteten Kabel den Wert von 1 Megohm für 1 Aderkilometer verlangt, gemessen bei Erdung der einen Hälfte der Adern gegen die andere [1]). Mit dieser Isolation kann man, wie die Erfahrung gelehrt hat, bei den kurzen, nur selten über 100 m langen Kabeln gut auskommen, auch sind die etwaigen Stromableitungen beim Zentralbatteriebetriebe derart gering, daß man sie gegenüber dem sonstigen Strombedarf eines Amtes vernachlässigen kann. Daß aber bei geringerer Isolation solche Stromverluste überhaupt in Betracht kommen können, ist immerhin bei der Konstruktion von Systemkabeln nicht außer acht zu lassen.

Eine weitere Forderung muß dahin gehen, daß die Höhe der Isolation auch dauernd erhalten bleibt. Es darf also das zur Umspinnung oder Imprägnierung verwendete Material sich mit der Zeit nicht derart verändern, daß Feuchtigkeit in unzulässiger Menge eintritt. Der Isolierstoff muß sich den wechselnden Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnissen anpassen, damit z. B. nicht die bei höheren Wärmegraden aufgenommene Feuchtigkeit bei fallender Temperatur teilweise im Kabel zurückgehalten wird, d. h. also: die Ausdünstungsfähigkeit des Kabels muß mit der wechselnden Wasseraufnahme gleichen Schritt halten. Zur Erhaltung genügender Isolation ist die richtige Behandlung der ausgeformten Kabelenden wesentlich. Im allgemeinen wird das Eintauchen in reines Bienenwachs, seltener in ein Bad von heißer Chattertonmasse, angewendet. Dabei kommt es besonders darauf an, die Adern am Bunde sorgfältig zu schützen, also dort, wo sie bei der Formierung auseinandergehen. Eine solche Behandlung der Adernspitzen hat gleichzeitig noch den weiteren Erfolg, daß ein Loslösen der Aderumspinnung verhindert und damit die Neigung zur Wasseraufnahme vermindert wird.

Wegen der geringen Isolation der betriebsfertigen Systemkabeladern muß dafür gesorgt werden, daß von ihnen und namentlich von ihren freigelegten Adern feuchte Luft ferngehalten und ein etwa entstandener Niederschlag in kürzester Zeit beseitigt wird. Gewöhnlich befindet sich der Hauptteil dieser Kabel nicht in Betriebsräumen, die dauernd mit feuchter Luft erfüllt sind. Die Adern werden daher nur nach und nach etwas Wasser aufsaugen. Eine Gefahr ist aber dann vorhanden, wenn die Neigung des Isoliermaterials zur Wasseraufnahme größer als seine Verdunstungsfähigkeit ist. Um der Hygroskopie von Systemkabeln zu begegnen und ihre Isolation dauernd auf einer für den Betrieb erträglichen Höhe zu erhalten, empfiehlt es sich, in den betreffenden Räumen durch Heiz- und Lüftungsanlagen für gleichmäßige Trockenhaltung der Luft zu sorgen. Wenn die Luft draußen sehr feucht ist, wird man die Fenster geschlossen halten. Sonst aber, wenn die äußere Luft trocken und warm ist, wird es vorteilhaft sein, durch Öffnen der Fenster Gegenzug hervorzurufen, da stark bewegte Luft Feuchtigkeit gut beseitigt. Ist es nicht angängig, Gegenzug herzustellen, so müssen die Räume unter Umständen sogar im Sommer geheizt werden. Für den Winter

[1]) Danach würde z. B. in einem 42adrigen Kabel von 15 m Länge, von denen 21 Adern am Instrument und 21 an Erde liegen, die Isolation $\frac{1 \times 1000}{15 \times 21}$ = rd. 3,2 Megohm für die angeschaltete Aderlänge betragen müssen.

ist es natürlich wichtig, ununterbrochen eine Tag und Nacht gleichmäßige, nicht zu niedrige Temperatur zu erhalten.

Die Kapazität der Systemkabel ist infolge ihrer Konstruktion ohne Luftraum und ihrer Neigung zur Wasseraufnahme in ausgeformtem Zustande ziemlich hoch, sie schwankt mit der Art und Stärke der Isolierhülle und der Gesamtaderuzahl des Kabels, soll aber nach den Vorschriften der R. T. V., unter denselben Voraussetzungen wie für die Isolation, nicht über 0,2 Mf für 1 Aderkilometer hinausgehen. Im übrigen kommt es, wie oben bereits erwähnt, wegen der geringen Länge der Kabel im Grunde auf etwas mehr oder weniger Kapazität nicht so wesentlich an; die Hauptsache ist zweifellos die gute Isolation. Daß auch das Verhalten der Kabel gegen Wechselstrom unter Umständen berücksichtigt werden muß, ist früher (S. 17) schon bemerkt worden; es könnte also unter Umständen wohl in Frage kommen, für die Systemkabel Wechselstrombedingungen vertragsmäßig festzulegen.

Die Systemkabel enthalten Adern mit 0,6 mm starken, verzinnten Kupferleitern; größere Durchmesser sind nur selten gebräuchlich. Die Adern werden in den Kabeln entweder einzeln geführt oder, was die Regel bildet, zu zusammengehörigen Gruppen vereinigt. Die *a*- und *b*-Adern der einzelnen Doppelleitungen werden in diesen Gruppen in kurzem Drall besonders miteinander verseilt. Die Kabel bestehen, entsprechend den Klinkenstreifen, meistens aus einem Vielfachen von 10 oder 20 Adern. Außerdem enthält jedes solche Kabel noch eine Vorratsaderngruppe, so daß also die Kabel aus 1, 2, 3 usw. mal 11 oder 21 Adern bestehen, die zusammen in langem Drall die eigentliche Kabelseele bilden. Ausnahmsweise werden die Kabel zu besonderen Zwecken auch mit anderer Adernzahl hergestellt. Zur Erleichterung der Verlegungs- und Prüfarbeiten werden die einzelnen Adern der Gruppen durch verschiedene Färbung gekennzeichnet; hierfür sind bestimmte Farbentafeln gebräuchlich.

Früher wurden die einzelnen Umspinnungsmaterialien meistens noch getränkt. Als Mittel zur Imprägnierung kommen namentlich Bienenwachs, auch wohl Mennige und Firnis in Betracht. Das vielfach verwendete Paraffin wird jetzt nicht mehr genommen, da es mit steigender Temperatur seine isolierende Eigenschaft verliert, dann auch mehr Feuchtigkeit durchläßt als Bienenwachs und daher leichter zu Betriebsschwierigkeiten Anlaß gibt. Es ist jedoch andererseits vollständig unbedenklich, ungetränkte Materialien zu nehmen, wenn nur die äußere Hülle des Kabels tatsächlich undurchdringlich für Feuchtigkeit ist. Die Imprägnierung dieser Deckschicht soll außerdem auch möglichst feuerbeständig sein. Nach den Erfahrungen der Praxis gelingt es einwandfrei, durch künstliche Trocknung der Materialien und des Kabels vor dem Aufbringen der Deckhülle alle Feuchtigkeit aus den Isolierstoffen auszutreiben. Es ist hierbei noch zu berücksichtigen, daß jede Tränkung die Kapazität erhöht, da durch sie die vorhandenen kleinen Lufträume verstopft werden. Außerdem verbessert bei sonst guter Konstruktion des Kabels die Tränkung nicht so wesentlich die Isolation, daß sie unbedingt vorgenommen werden müßte. Wenn auch, wie bereits erwähnt, die Hauptsache bei den Systemkabeln die Isolation ist, so sollte doch andererseits die Kapazität nicht ohne zwingende Gründe künstlich erhöht werden. Durch sorgfältiges Aussuchen und Reinigen des Rohmaterials wird eine erheblich bessere

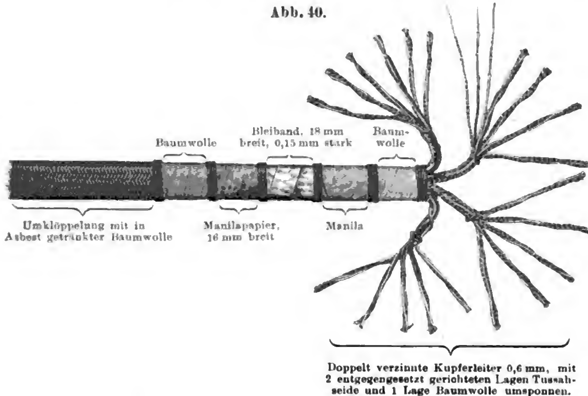
Gewähr für die Güte und Dauerhaftigkeit der Kabel geschaffen, als wenn die Stoffe noch getränkt werden.

Wichtig ist schließlich noch die Auswahl des Materials zum Abbinden der einzelnen Adern. Hanf ist ebenso hygroskopisch wie Baumwolle, auch gewachste derartige Fäden sollten nicht verwendet werden; am besten eignen sich Seidenfäden oder auch schmale getränkte Seidenstreifen.

In der Hauptsache werden zurzeit die sogenannten Baumwollseidenkabel bevorzugt, die es zulassen, daß bei geringem Gewicht auf möglichst kleinem Raum viele Adern untergebracht werden.

Abb. 40 zeigt ein flach gepreßtes Baumwollseidenkabel mit Bleibandschutz, welches neuerdings mehrfach bei Einrichtung von Fernsprechzentralen nach dem Dreileitersystem mit gutem Erfolge Verwendung

Abb. 40.



gefunden hat. Das Kabel ist von den Deutschen Telephonwerken, Berlin, in enger Anlehnung an ein Fabrikat der Western Electric Co., Chicago, konstruiert worden. Die Bauart [1]) ist aus den beistehenden Hinweisen zu ersehen. Das eigentliche Isolationsmaterial in diesem Kabel ist die Seide, während das Bleiband den Schutz gegen Feuchtigkeit übernehmen soll. Die zusammengehörigen *a*- und *b*-Adern jeder Leitung sind mit 6 cm Verdrillschlag miteinander verdrillt und dann mit den nebenher laufenden zugehörigen *c*-Adern verseilt. Das dargestellte Kabel enthält $21 \times 3 = 63$ Adern. Es soll nach den Vertragsbedingungen bei der Anlieferung einen Isolationswiderstand von mindestens 200 Megohm für 1 km haben; seine Gleichstromkapazität soll 0,10 Mf für die gleiche Länge nicht überschreiten, der Leitungswiderstand beträgt für 1 km etwa 63 Ohm. Infolge des Bleibandes und Papierschutzes kann die Isolation nach längerer Lagerzeit noch mit 50 Megohm garantiert werden. Der Isolationswert der einzelnen Adern sinkt allerdings ganz er-

[1]) Nach Mitteilungen der Firma.

heblich, sobald das Kabel verarbeitet ist. Das Kabel wird zur besseren Verlegung nach der Fertigstellung flach gewalzt und hat dann bei 63 Adern einen Querschnitt von 11,5 × 17 mm. Diese Kabeltype stellt gegen die früheren Ausführungsformen einen ganz wesentlichen Fortschritt dar, zumal auch die Änderung der Isolation bei Einwirkung von Feuchtigkeit und Wärme langsamer als bei anderen Systemkabeln vor sich geht. Der Wert der mit Wechselstrom gemessenen Kapazität beträgt im Durchschnitt nur etwa 0,13 Mf, die Isolation der ausgeformten und betriebsfertig montierten Kabel hat bei den Messungen im Durchschnitt 0,8 Megohm ergeben. Dieses ist als ein gutes, für den Betrieb vollständig ausreichendes Resultat zu bezeichnen.

Die R. T. V. hat kürzlich auch für die Systemkabel der Zentralbatterieämter Normalien aufgestellt, welche sich in ihren wesentlichen Bedingungen mit der Konstruktion und den Eigenschaften dieses Kabels decken. Die elektrischen Anforderungen sind jedoch auf Grund der bisherigen Erfahrungen ein wenig geändert worden, um nicht bei der Abnahme der Kabel durch irgend welche ungünstige Zufälligkeiten Schwierigkeiten zu haben, zumal ohnehin die späteren Betriebswerte doch wieder andere sind. Aus diesem Grunde kann auch die für alle anderen Kabelarten übliche Gewährleistung für die Erhaltung der nach der Anlieferung vorhandenen elektrischen Eigenschaften auf eine gewisse Reihe von Jahren bei Systemkabeln nicht gefordert werden. Als Isolationswiderstand für das fertige, noch nicht verarbeitete Kabel werden für 1 km mindestens 50 Megohm verlangt, als Höchstkapazität ist 0,2 Mf festgesetzt; beide Werte beziehen sich auf eine Temperatur von 20° C und eine Luftfeuchtigkeit von 65 v. H. nach 24stündiger Lagerung. Je nach dem verschiedenartigen Zweck und System ist auch die Adernzahl verschieden; sie schwankt zwischen 10 und 92 in Einzelgruppen von 3, 4 und 5 Adern. Auch die Zahl und Nummer der Fäden und die Dichtigkeit der Umspinnung in der Seidenauflage und jeder einzelnen Baumwollschicht sind genau festgesetzt. Im allgemeinen werden diese neuen Kabel in runder Form geliefert, nur für die 63 adrige Type ist außerdem noch die flache Form — in höchstens 9,22 m Stärke — vorgesehen. Diese gepreßte Type kommt in den modernen Vielfachschränken ohne Eisenstabauflager für die Systemkabel zur Anwendung. Die Kabel lassen sich bequem formen und biegen und eng aneinander lagern, so daß die Raumbeanspruchung verhältnismäßig geringer und die Raumausnutzung günstiger sind, als bei runden Kabeln. Ein derartig belegter Schrank sieht bei guter Montage sehr sauber aus und ist durchaus übersichtlich.

Im Anschluß hieran soll noch ein weiteres Baumwollseidenkabel erwähnt werden, welches als Abschlußkabel[1]) zur Verbindung der Straßenkabel mit dem Umschaltegestell verwendet wird. Die verzinnten 50 Adernpaare mit 0,8 mm-Leitern sind wie bei dem vorstehend beschriebenen Systemkabel besponnen und die einzelnen Adernlagen in entgegengesetzter Richtung mit langem Drall verseilt. Es fehlen allerdings das Bleiband und die Papierlagen, dafür wird der verseilte Kabelkern mit einem säurefreien weißgummierten Kalikoband umwickelt und darüber mit einem Bleimantel von 1,5 mm Stärke nahtlos umpreßt. Der äußere Durchmesser des Kabels beträgt etwa 21 mm. Die elektrischen Vertragswerte dieser Kabel sind 0,2 Mf für

[1]) Zu vgl. Abschnitt VIII.

die Einzeladern und 0,14 Mf für die Doppelleitungen, sowie 100 Megohm, beides gemessen bei 20° C. Neuerdings werden solche Kabel mit vollständig geschlossenem Bleimantel und 0,6 mm starken Leitern auch zu 11, 22 und 42 Paaren für die Nebenstellenschaltungen der R. T. V. angefertigt.

Zum Schluß soll noch darauf hingewiesen werden, daß auch Versuche gemacht worden sind, die Systemkabel — und ebenso die Zimmerleitungs- und Verteilerdrähte — mit Email und einer darüberliegenden Umspinnung zu isolieren, die Kabel können dadurch billiger und dünner hergestellt werden; auch sind Kabel mit auf den Kupferleiter eingebranntem Lacküberzug angefertigt worden. Die hauptsächlichste Bedingung für solche Überzüge würde sein, daß sie bei der in der Praxis erforderlichen mechanischen Beanspruchung der Kabel durch Biegen usw. dauerhaft bleiben und nicht abblättern, auch dürfen sie weder einen schädlichen Einfluß auf den Leiter und die Umspinnungsmaterialien ausüben, noch die Einleitung von elektrolytischen Prozessen begünstigen. Endgültige Ergebnisse von Versuchen mit solchen Kabeln sind nicht bekannt geworden.

Isolierte Drähte.

Zu den Kabelleitungen im weiteren Sinne gehören auch die isolierten Drähte. Diese werden im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe in der Hauptsache als sogenannte Zimmerleitungs- und Verteilerdrähte, ferner zu Einführungszwecken und auch zum Schutz gegen Starkstromanlagen verwendet.

Die Entwickelung der isolierten Drähte geht vom bleigeschützten einadrigen Guttaperchakabel durch eine große Anzahl von Drahtsorten zu den jetzt üblichen Typen, ohne daß man sagen könnte, daß die inzwischen wieder verworfenen Konstruktionen nicht auch manche Vorzüge gehabt hätten. Außerdem kommt in Betracht, daß eine einheitliche Form überhaupt nicht gewählt werden kann, da die Leitungen unter ganz verschiedenen örtlichen und Betriebsverhältnissen verwendet werden müssen. Die folgenden Erörterungen sollen die zurzeit bei der R. T. V. bestehenden Verhältnisse darstellen.

Neben den bereits auf S. 76 erwähnten 1- und 4adrigen Guttaperchakabeln mit Bleimantel werden für die Führung der Zimmerleitungen in den Telegraphenbetriebsstellen neuerdings Kabel mit Faserstoffisolierung als sogenannte „starke Bleirohrkabel" benutzt. Der Leiter dieser Kabel ist 1 mm stark (Kupferwiderstand höchstens 23 Ohm für 1 km). Er ist zunächst mit einer Lage Papier, darüber mit einer Baumwollbespinnung, nochmals mit Papier und schließlich mit einer Zwirnumklöppelung bedeckt. Beim 4 adrigen Kabel sind vier solche Adern gemeinsam verseilt und mit einer Jutebespinnung umgeben. Die Kabel werden nach dem Trockenprozeß mit einer Compoundmasse getränkt und dann mit einem 0,8 bzw. 1 mm starken Bleimantel umpreßt. Der äußere Durchmesser der Kabel beträgt 5 und 9,5 mm. Diese 1adrigen Kabel werden auch noch zur Einführung von Fernsprechverbindungsleitungen in die Vermittelungsanstalten verwendet.

Eine ähnliche Konstruktion ist das zur Einführung oberirdischer Fernsprechanschlußleitungen in die Sprechstellen bestimmte 1-oder 2adrige „leichte Bleirohrkabel" mit 0,8 mm-Leitern (Widerstand 37 Ohm), die zur Isolierung mit zwei Lagen Papier und zwei entgegengesetzt gerichteten Baumwollumspinnungen versehen sind. Als Tränkungsmittel ist eine braune, harzige

Masse gewählt. Die Kabel haben einen 0,6 mm starken Bleimantel, welcher beim Doppeldraht eine elliptische Form von 3 × 8 mm hat, da die beiden Drähte ohne Verdrillung nebeneinander liegen. Der Durchmesser des 1adrigen Kabels beträgt 3,2 mm.

Außerdem ist noch ein „1adriges Kabel mit verstärkter Isolierhülle", mit vier Lagen Papier, gebräuchlich, das besonders bei Sprechstellen mit feuchten Wänden usw. als Zimmerleitungsdraht, sowie neuerdings, zunächst noch versuchsweise, zur Einführung von oberirdischen Verbindungsleitungen dient. Der Nachteil dieser, mit leichtflüssiger Isoliermasse behandelten Kabel gegenüber den mit der festeren Compoundmasse getränkten, aber auch teureren Kabel liegt darin, daß sie schwerer abzuschließen sind. Dieser Umstand ist aber gerade für den Fernsprechbetrieb nicht ohne Bedenken, da an den angeschnittenen Spitzen die Isolation gefährdet sein kann. Dazu kommt, daß man an den Compoundkabeln trotz Abschneidens des Bleimantels die feste Isolierhülle bis ziemlich dicht an das Ende der Kupferader belassen kann, denn die Tränkungsmasse selbst ist hart und fest, so daß Feuchtigkeit nicht eindringen kann. Dagegen sind die leichteren Kabel mehr hygroskopisch. Diesem Mangel läßt sich aber durch Bestreichen der Kabelspitzen mit heißer Compoundmasse ausreichend begegnen, auch sind kleine Gummiendverschlüsse einfacher Form zu empfehlen.

Ein anderes Muster ist das doppeladrige sogenannte Stegkabel der Firma Felten u. Guilleaume-Lahmeyerwerke, Mülheim (Rhein), welches aus einer Vereinigung zweier 1adriger Bleikabel (0,4 mm-Leiter, eine Lage imprägniertes Papier, darüber zwei Lagen imprägnierte Baumwolle, 0,7 mm-Bleimantel) besteht. Die beiden Einzelkabel sind durch einen Bleisteg verbunden, so daß der Querschnitt des ganzen Kabels wie ein kurzer Stab mit einer kleinen Scheibe an jedem Ende aussieht. Eine Ader ist verzinnt. Dieses Kabel soll zur Heranführung der Zweige einer Doppelleitung an die Apparatklemmen oder an weiter auseinander liegende Einschaltungspunkte dienen. Der Bleimantel wird mittels eines besonderen Rollenmessers auf die erforderliche Länge durchgeschnitten, so daß das Ende in zwei voneinander getrennte, jedoch bis an die Spitzen mit vollständig geschlossenem Bleimantel versehene Einzelkabel ausläuft. Zweifellos wird auf diese Weise die Kabelspitze besser geschützt, doch sind mit dieser Konstruktion insofern weniger günstige Erfahrungen gemacht worden, als der Bleisteg an Biegungen und Ecken leicht bricht, wodurch dann wieder eine Gefährdung der Isolation hervorgerufen werden kann. Abschließende Betriebsergebnisse liegen noch nicht vor.

In dieses Gebiet kann man auch die 1-, 2- und 4paarigen „getränkten Faserstoffkabel zu Einführungszwecken" rechnen, welche in den Fernsprechnetzen der R. T. V. mit rein unterirdischer Verteilung[1]) zur Führung der Anschlußleitungen vom Einzelverteiler bis zu den Sprechstellen verwendet werden. Der 0,8 mm-Leiter — eine Ader jedes Paares ist zur Unterscheidung wieder verzinnt — hat zunächst eine Papierumspinnung und darüber zwei entgegengesetzt laufende Baumwollagen, die beiden Adern jedes Paares sind verdrillt und mit getränkter Jutefaser umsponnen. Der 1 mm starke Bleimantel dieser Kabel enthält 3 v. H. Zinnzusatz. Die 2- und

[1]) Zu vgl. die Ausführungen im Abschnitt IV, S. 136 ff.

4 paarigen Kabel sind entsprechend verseilt, ein Zähladernpaar ist besonders gekennzeichnet. Der Durchmesser der Kabel beträgt 8, 9 und 10,5 mm. Diese Kabel sind gewählt worden, weil die früher zu Einführungszwecken verwendeten Papierluftraumkabel sich infolge ihrer außerordentlichen Hygroskopie als wenig geeignet erwiesen hatten. Die höhere Kapazität der Faserstoffkabel kommt bei den geringen Längen nicht in Betracht. Es könnte unter Umständen wohl in Frage kommen, diese Kabeltype an Stelle der vorher erwähnten leichten Bleirohrkabel auch zur Einführung oberirdischer Anschlußleitungen oder als Ersatz für Zimmerleitungsdraht in feuchten Räumen zu verwenden, um die Zahl der Typen zu verringern und damit die Entscheidung über die im einzelnen zu verlegenden Drähte zu erleichtern.

Außer diesen bleigeschützten Drähten wird bei der R. T. V. zur Einführung starkdrähtiger Fernsprechverbindungsleitungen gelegentlich noch von einer besonderen Art „Gummiadern mit mehrdrähtigem Kupferleiter“ Gebrauch gemacht. Der Leiter besteht aus einer Litze von sieben 1,35 mm starken Kupferdrähten, deren Gesamtquerschnitt 10 qmm ausmacht, so daß er etwa einem Volldraht von 3,5 mm Durchmesser entspricht. Die Leitungslitze ist doppelt feuerverzinnt und mit drei Lagen Gummi von gleicher Zusammensetzung wie bei den Gummikabeln oder mit einer Lage Okonit von 1,5 mm Wandstärke umpreßt und darauf vor der Vulkanisation mit Isolierband dicht bewickelt. Zum Schutze gegen atmosphärische Einflüsse wird das Ganze mit einer möglichst dicht geflochtenen Beklöppelung aus Baumwollgarn mit wetterbeständiger Tränkung versehen. Die elektrischen Anforderungen an diese Gummidrähte sind für 1 km 1,75 Ohm Leitungswiderstand, 150 Megohm Isolationswiderstand und 0,4 Mf Kapazität.

Der eigentliche Zimmerleitungsdraht der R. T. V. dient seiner ursprünglichen Bestimmung nach hauptsächlich zur Führung der Fernsprechanschlußleitungen bei den Teilnehmersprechstellen.

Zuerst wurde für solche Zwecke mit Baumwollgarn umsponnener und mit Wachs getränkter Draht verwendet. Mit der Entwickelung der Fernsprechtechnik konnte jedoch solch einfacher Wachsdraht den an den Betrieb zu stellenden Anforderungen nicht mehr genügen. Wachs ist zwar an und für sich nicht hygroskopisch, verliert aber mit steigender Temperatur infolge Veränderung seines mechanischen Zustandes an Wert als Isoliermittel, so daß die außerordentlich feuchtigkeitsbegierige Baumwolle den Einwirkungen der Feuchtigkeit nachgibt und dann erhebliche Nebenschließungen bilden kann.

Anfang dieses Jahrhunderts wurden auf Grund der inzwischen gemachten Erfahrungen von der R. T. V. vier verschiedene Zimmerleitungsdrähte, als Z_1 bis Z_4 bezeichnet, eingeführt, die je nach ihrem Verwendungsgebiet eine verschiedene Konstruktion hatten. Diese Z-Drähte waren folgende:

a) Asphalt-Wachsdraht (Z_1) für trockene Räume;

b) Papier-Wachsdraht (Z_2) mit doppelter Papierisolation für feuchte Räume;

c) Gummibanddraht mit wettersicherer Umspinnung (Z_3) für besonders feuchte Räume;

d) Gummibanddraht mit flammensicherer Umspinnung (Z_4) für Umschaltegestelle.

Eine nähere Beschreibung wird sich erübrigen. Mit der fortschreitenden Einführung des Zentralbatteriebetriebes stellte es sich heraus, daß selbst diese gummibandisolierten Drähte nicht allgemein ausreichend waren, um einen gesicherten Betrieb zu gewährleisten. Es erschien daher notwendig, auch die Bedingungen für gummiisolierte Zimmerleitungsdrähte auf dieselbe Grundlage wie die der Gummikabel zu bringen. Gleichzeitig wurde ein Unterschied hinsichtlich der Verwendung des Z-Drahtes aufgegeben und allgemein nur noch eine einzige Type vorgesehen. Zur weiteren Sicherung der Isolation werden diese Drähte bei den Sprechstellen usw. seit einiger Zeit grundsätzlich nur noch auf Porzellanisolierrollen geführt (Röllchenführung), so daß eine Berührung mit den Zimmerwänden ausgeschlossen wird. Ableitungen des Mikrophonspeisestromes oder des Sprechstromes können daher nicht mehr vorkommen. Nur in feuchten Räumen wird von diesem Z-Draht abgesehen und dafür das oben erwähnte Bleikabel mit Wandhaken direkt auf der Wand befestigt.

Es wird also fortan bei der R. T. V. nur noch eine einzige Sorte mit völlig geschlossener Gummihülle (Gummiaderdrähte) verwendet. Der feuerverzinnte, 0,8 mm starke Leiter wird mit einer Gummischicht von 0,5 mm Stärke auf der Longitudinalmaschine (s. S. 115) konzentrisch umpreßt; wünschenswert ist hierbei die Aufbringung in zwei Lagen, da kleinere Mängel dadurch unter Umständen bedeckt werden können. Die Gummimischung soll zu 45 v. H. aus reinem Paragummi bestehen und auch im übrigen den für Gummikabel vorgeschriebenen Bedingungen vollkommen entsprechen. Über die Gummihülle erhält die Ader eine Beklöppelung aus hellgrauem Eisengarn (s. S. 117), so daß die Oberfläche möglichst glatt wird. Bei Doppeldraht wird eine Ader durch Einflechten hellroter Fäden besonders gekennzeichnet. Eisengarn deckt zwar weniger, doch kommt dieser Umstand hier nicht so wesentlich in Betracht, da die Umklöppelung bei Z-Drähten in erster Linie die Rolle eines Trägers für das Wachs bildet. Dazu kommt, daß das Wachs bei einem weniger deckenden Garn besser zwischen die einzelnen Fäden der Umklöppelung eindringt. Bei genügender Erwärmung des Wachses kann die Isolierhülle auch trotz der Appretur des Garnes ausreichend getränkt werden.

Der Durchmesser des fertigen neuen Z-Drahtes beträgt 2,3 mm, Doppeldrähte werden verseilt. Ein bestimmter Verseilungsfaktor ist nicht festgelegt, doch kann man das Verhältnis der Länge des aufgedrillten einzelnen Drahtes zur Länge der Doppelader im verdrillten Zustande — wie auch allgemein bei den Kabeln (s. S. 24) — etwa mit 1,02 annehmen.

Die Firmen haben den Draht nach Gewicht zu liefern, 94 m Einzeldraht oder 46 m Doppeldraht sollen auf 1 kg entfallen. Die Lieferung nach Gewicht ist seitens der R. T. V. deshalb gewählt worden, weil dadurch die Abnahme und namentlich die Ausgabe in den Magazinen wesentlich erleichtert werden.

Die geforderten elektrischen Eigenschaften dieser Gummidrähte schließen sich denen für Gummikabel eng an. Der Leitungswiderstand soll für 1 Aderkilometer höchstens 35 Ohm bei 15° C betragen. Nach der auf S. 14 angegebenen Formel würde bei 0,8 mm-Leiter und 0.5 mm-Gummihülle die Kapazität höchstens 0,203 Mf betragen dürfen; festgelegt sind aber sogar 0,25 Mf. Die gemäß den Bemerkungen auf S. 12 berechnete Isolation beträgt

176 Megohm; indessen sind nur 150 Megohm gefordert nach 12 stündigem Liegen unter Wasser von nicht über 25° C. Außerdem ist noch eine Prüfung auf elektrische Festigkeit der noch nicht beklöppelten Adern vorgesehen. Eine Gewährfrist wird für Zimmerleitungsdrähte nicht beansprucht, da die Drähte unter sehr verschiedenen Verhältnissen verwendet werden.

Verteilerdrähte sind die in den Umschaltegestellen (Hauptverteilern) der Fernsprechvermittelungsämter zur Verbindung der Außen- und Systemkabel dienenden 1 adrigen und 1 paarigen Drähte. Sie werden auch wohl als Schaltdrähte oder Rangierdrähte bezeichnet.

Zunächst liegt es nahe, für diesen Zweck die sonst gebräuchlichen Z-Drähte zu verwenden. Dieses ist vielfach geschehen und ist neuerdings bei der R. T. V., von besonderen Ausnahmefällen abgesehen, auch allgemein durchgeführt. Hierzu werden die vorstehend beschriebenen Drähte mit völlig geschlossener Gummihülle benutzt. Nur insofern ist eine geringfügige Abweichung getroffen, als wegen der oft recht beeinträchtigten Lichtverhältnisse in den Umschalteräumen an Stelle des roten Fadeneinlaufs in eine Ader eine verschieden gefärbte Garnbeklöppelung (weiß und dunkelbraun) für die a- und b-Adern gewählt worden ist.

Früher haben Drähte in größerem Umfange Verwendung gefunden, deren äußere Baumwollbespinnung an Stelle mit Wachs mit einer Asbestfarbe getränkt waren. Asbest hat zwar den Vorzug, die Feuersicherheit wesentlich zu erhöhen. Es hat sich jedoch im Laufe der Zeit herausgestellt, daß er recht hygroskopisch ist und daher die Isolation der Drähte in den eisernen Umschaltegestellen erheblich beeinträchtigt. Dazu kommt noch, daß der sich ablösende feine Asbeststaub bei längerem Arbeiten mit solchen Drähten zuweilen eine lästige mechanische Reizung der Schleimhäute der Arbeiter usw. hervorzurufen geeignet ist. Die unterschiedliche Wirkung von Wachs und Asbest als Tränkungsmittel liegt darin, daß letzterer reichlich Feuchtigkeit aufnimmt, während Wachs nur durch Erhöhung der Temperatur an Isolierfähigkeit verliert.

Bei der neuen Fernsprechzentrale in Hamburg wird nach amerikanischem Vorgang ein Versuch mit nur 0,6 mm starken Schaltdrähten gemacht. An und für sich ist diese Querschnittsverringerung trotz der damit verbundenen Widerstandserhöhung unerheblich, da die Drahtstücke nur kurz sind. Bedenken lagen seitens der R. T. V. bisher nur vor, ob solche dünne Drähte auf die Dauer den gerade in den Umschaltegestellen an sie zu stellenden erhöhten mechanischen Anforderungen (scharfe Biegungen, wiederholtes Herausziehen und Umlegen) gewachsen seien. Die beschränkten räumlichen Verhältnisse in Hamburg haben aber diese Maßnahme notwendig gemacht und dabei gleichzeitig noch zu einer gänzlich veränderten und vereinfachten Konstruktion geführt. Der doppelt feuerverzinnte Kupferleiter ist zweimal mit Tussahseide und darüber mit Baumwollfäden bis höchstens zu 1,5 mm Durchmesser besponnen. Die Isolierhülle ist bis auf die innerste Seidenlage reichlich mit reinstem Bienenwachs getränkt, so daß die Isolierhülle sich beim Anschneiden der Ader nicht aufspreizt. Je eine Ader ist gelb und dunkelbraun gefärbt. Die elektrischen Werte für das Aderkilometer der noch nicht verarbeiteten Drähte sind mit höchstens 65 Ohm Kupferwiderstand und

0.2 Mf Kapazität, sowie mit mindestens 1 Megohm Isolationswiderstand bemessen worden. Der Draht wird von den Deutschen Telephonwerken, Berlin, geliefert und hat sich bis jetzt bewährt. Wie weit allgemein in Zentralbatterienetzen von dem sonst grundsätzlich verwendeten Gummiverteilerdraht abzusehen sein wird — wodurch jedenfalls eine bedeutende Ersparnis an Kosten und an Raum erzielt werden könnte —, muß erst die weitere Erfahrung lehren. Ein mit den neuen Drähten beschaltetes Gestell gewährt aber jedenfalls eine bessere Übersicht und erleichtert wesentlich die Verlegungsarbeiten.

Zum Schutz des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes gegen Gefahren aus Starkstromanlagen werden seitens der R. T. V. an Kreuzungen und Näherungsstellen mit ungeschützten oberirdischen Starkstromleitungen an Stelle der blanken Freileitungen solche aus isoliertem Bronzedraht verwendet.

Es sind in der Hauptsache zwei Arten in Gebrauch. Zunächst der auch sonst in der Starkstrompraxis vielfach gebräuchliche Gummidraht; zur Erzielung einer möglichst hohen Wetterbeständigkeit ist seitens der R. T. V. Okonit (s. S. 57) gewählt worden (Okonitdrähte). Die doppelt feuerverzinnten Leiter sind 1,5 oder 3 mm starke Bronzedrähte, deren absolute Festigkeit mindestens 120 oder 372 kg [1]) betragen soll; der Leitungswiderstand darf 14,11 oder 2,63 Ohm für 1 km bei 15° C nicht überschreiten. Die Okonitschicht wird mit schwarzem Hanfgarn beklöppelt und die Ader dann mit Imprägniermasse getränkt. Der Durchmesser des fertigen Drahtes beträgt 5 und 8 mm. Löt- und Schweißstellen sollen in den einzelnen Längen nicht vorkommen. Die Isolierhülle des unter Wasser befindlichen Drahtes darf bei Anwendung einer Wechselspannung von 4000 Volt nicht durchschlagen werden. Solche isolierten Drähte haben jedoch trotz aller Fabrikationsvorsicht den Nachteil, daß ihre Haltbarkeit im Freien unter dem Einfluß der Witterung allmählich nachläßt, so daß ein sicherer Schutz über die zweijährige Gewährfrist hinaus nicht unter allen Umständen erwartet werden kann (zu vgl. S. 113).

Befriedigende Erfolge sind nach den bisherigen Beobachtungen auch mit dem isolierten Draht der Hackethaldraht- und Kabelwerke, Hannover, erzielt worden. Der verzinnte, 1,5 oder 3 mm starke Leiter ist mit einer vulkanisierten Gummihülle umgeben und darüber mit zwei Lagen Papier, einer Baumwollumspinnung und einer Baumwollbeflechtung bis auf 5 oder 8 mm äußeren Durchmesser versehen. Diese beiden Baumwollhüllen sind nach einem besonderen Verfahren mit einer aus Mennige, Leinöl und einigen Zusätzen bestehenden Masse imprägniert, die an der Luft bis zur Erhärtung getrocknet wird. Mennige besteht aus sehr fein gepulverten, in hohem Grade dielektrischen Bleioxyden, sie verbindet sich mit dem Öl so innig, daß die Mischung die Faserstoffe wie reines Öl durchdringt. Die elektrischen und mechanischen Anforderungen sind dieselben wie beim Okonitdraht. Dieser Hackethaldraht wird namentlich in der Starkstromtechnik bevorzugt,

[1]) Entsprechend den Vorschriften für die blanken Bronzedrähte: Absolute Festigkeit bei 3 mm starken Drähten mindestens 52,6 kg pro qmm, bei 1,5 mm Drähten 68 kg — d. h. für den ganzen Querschnitt 372 bzw. 120 kg.

für Telegraphen- und Fernsprechwerke ist er wegen seiner aufdringlichen roten Färbung im allgemeinen nicht recht beliebt.

Neuerdings wird versuchsweise ein von der Firma Lynen u. Co., Eschweiler, in den Handel gebrachtes Fabrikat verwendet. Die Gummihülle dieses Drahtes ist mit Papier umwickelt und mit Antimonoxysulfid getränkt. Diese neue Fabrikationsmethode soll den Draht noch haltbarer, insbesondere widerstandsfähiger gegen chemische und atmosphärische Einwirkungen machen. Die Isolierhülle ist bei einer Prüfung nach 24 stündigem Liegen unter Wasser von 10000 Volt nicht durchschlagen worden. Nähere Betriebserfahrungen über diesen Antimonoxysulfid-Draht stehen noch aus.

Vierter Abschnitt.

Grundzüge für die Anlage von Kabelnetzen.

Allgemeines.

Schon bald nach der Herstellung der ersten großen oberirdischen Telegraphenlinien machten sich in Deutschland gewichtige Strömungen zur Anlegung von Kabellinien in weiterem Umfange geltend, obwohl frühere Versuche infolge der damals noch mangelhaft entwickelten Kabeltechnik ein im allgemeinen wenig günstiges Ergebnis erzielt hatten. Die Ursachen zu den erneuten Bestrebungen lagen in erster Linie in den Witterungseinflüssen, doch halfen auch strategische Gründe nach. Größere Naturereignisse, wie Schneewehen und heftige Stürme, Blitzschläge, Rauhfrost usw. hatten sich als erbitterte Feinde der oberirdischen Anlagen erwiesen; fahrlässige und böswillige Beschädigungen störten häufig den telegraphischen Verkehr. Ferner war die Einwirkung der sogenannten Atmosphärilien, d. h. der in der Luft enthaltenen Substanzen, nicht ohne Bedeutung; die Stangen waren der Fäulnis und sonstiger Zerstörung ausgesetzt. Die fortgesetzten Temperaturunterschiede schwächten die Festigkeit des Drahtes, Regen und Nebel bewirkten Ableitungen des Stromes — kurz, die Betriebsschwierigkeiten mehrten sich und die Unterhaltungskosten stiegen immer höher.

Die zweite wesentliche Veranlassung zum Übergange von der oberirdischen zur unterirdischen Leitungsführung lag in der räumlichen Beschränktheit. Das örtliche unmittelbare Bedürfnis zur Anlage von Kabelnetzen steht im direkten Verhältnis zur Vermehrung der Telegraphen- und Fernsprechleitungen und im umgekehrten Verhältnis zu den vorhandenen Möglichkeiten ihrer oberirdischen Führung. Diese beiden Faktoren bedingen praktisch die Anlage von Kabelnetzen und erklären ohne weiteres das Überwiegen der unterirdischen Linien in den großen Städten gegenüber den mittleren und kleinen Ortschaften.

Für die praktische Ausführung der Kabelanlagen sind verschiedene Gesichtspunkte maßgeblich. Zunächst sind dieses die örtlichen Verhältnisse und das gewählte System der Kabelverlegung (Erdkabel oder Kanäle). Von wesentlicher Bedeutung, wenn auch nicht in jedem Fall ausschlaggebend, sind ferner noch die aufzuwendenden Kosten. Ein Kabelnetz soll derart angelegt werden, daß hinsichtlich der Kabel dem augenblicklichen Bedürfnis — unter Berücksichtigung eines gewissen Zuschlages für eine in nächster Zeit zu erwartende Leitungsvermehrung — ohne Aufwendung unverhältnismäßig

hoher Mittel genügt und gleichzeitig eine spätere Erweiterung in demselben Sinne nach Möglichkeit gewährleistet wird. Im übrigen sollen aus wirtschaftlichen Gründen und aus Verkehrsrücksichten bei Herstellung eines Kabelnetzes auch die Forderungen möglichst geringer Störung des Straßenverkehrs und tunlichster Einschränkung in bezug auf den im Straßenkörper erforderlichen Raum berücksichtigt werden.

Die Anfangs- und Endpunkte der Linie sind gegeben durch die Lage der Ämter und der Kabelabschlußstellen, welche die Verbindung der Kabeladern mit den weiterführenden Leitungen vermitteln sollen. Sind diese Punkte nach der Örtlichkeit und dem Umfange des Leitungsnetzes festgelegt, so ist dann die Kabellinie selbst nach dem Grundsatze, den nach den jeweiligen Verhältnissen kürzesten Weg zu wählen, im allgemeinen ohne weiteres vorgeschrieben. Es kann jedoch gelegentlich auch wohl zweckmäßiger werden, eine längere Strecke zu wählen, sofern sich auf dem kürzeren Wege die Linie nicht so gesichert oder etwa nur unter Aufwendung höherer Kosten unterbringen läßt, wenn also z. B. die den nächsten Weg darstellenden Straßen bereits in größerem Umfange mit anderen unterirdischen Anlagen (Gas, Wasser, Starkstrom, Entwässerung) besetzt sind, deren Verlegung nicht möglich oder nur mit unverhältnismäßig hohen Kosten zu erreichen wäre.

Die Kabellinie soll tunlichst weit entfernt von den fremden Einrichtungen hergestellt werden, damit die Zugänglichkeit sämtlicher Anlagen sichergestellt bleibt und eine gegenseitige Beeinflussung schon ohne besondere Schutzvorkehrungen nach Möglichkeit hintangehalten wird. Auch auf die Anpflanzungen an den Straßen ist Rücksicht zu nehmen und die Beschaffenheit des Bodens selbst auf etwaige schädliche Substanzen und ausreichende Festigkeit vorher zu prüfen. Besonders wichtig ist die genaue Festlegung des Kabeltraktes bei Überschreitung von Brücken, bei Durchführung durch Gewässer und Tunnels.

Die Benutzung von Privatgrundstücken und nicht öffentlichen [1]) Wegen wird auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken sein, da der dauernde Bestand der Kabelanlagen dort vielfach in Frage gestellt ist. In besonderen Fällen empfiehlt es sich, das gegenseitige Verhältnis möglichst im Wege des Schriftwechsels festzulegen, so daß sich der Abschluß besonderer Verträge erübrigt.

Zur Hochführung von Kabeln sollen nach den Vorschriften der R. T. V. möglichst in staatlichem oder städtischem Besitz befindliche Gebäude, und nur, wenn solche in genügender Zahl oder passender Lage nicht vorhanden sind, Privatgebäude ausgewählt werden. Hierbei sind Gebäude mit Fernsprechanschlüssen in erster Linie zu bevorzugen, da die sogenannte Hausbesitzererklärung [2]) sowohl auf die oberirdische, als auch auf die unterirdische Leitungsführung Anwendung findet. Durch Anbringung der

---

[1]) Wegen der Benutzung der öffentlichen Wege zu vgl. die Ausführungen am Schluß dieses Abschnittes. — [2]) Nach Punkt 2 der Ausführungsbestimmungen vom 26. März 1900 zur Fernsprechgebührenordnung des Deutschen Reiches ist die Ausführung eines Fernsprechanschlusses im Reichs-Telegraphengebiet an eine besondere vorherige schriftliche Erklärung des betreffenden Hausbesitzers gebunden, daß an dem Gebäude alle diejenigen Vorrichtungen angebracht werden können, welche zur Erweiterung usw. des Telegraphen- und Fernsprechnetzes erforderlich sind.

notwendigen Vorrichtungen an den eisernen Dachgestängen kann die Benutzung eines besonderen Raumes, der nach dieser Erklärung nicht unentgeltlich beansprucht werden kann, vermieden werden, soweit nicht etwa klimatische Verhältnisse eine solche Einrichtung über dem Dach als untunlich erscheinen lassen.

Hinsichtlich der Kabelverlegungssysteme sind drei Hauptgruppen zu unterscheiden:

1. Zunächst die Tunnelanlagen, bei denen im Straßenkörper genügend weite, luftige Gänge aus Mauerwerk hergestellt werden, welche die ungehinderte Bewegung von Menschen gestatten, um die Kabel längs der Wände oder am Boden auszulegen. Dieses System ist wohl als das Ideal aller Verlegungseinrichtungen anzusprechen, doch ist seine Anlage nur unter Aufwendung hoher Kosten möglich, ganz abgesehen von allen sonstigen, die Herstellung erschwerenden Umständen, so daß solche Tunnelanlagen im allgemeinen nur zum unmittelbaren Anschluß des Kabelnetzes an größte Zentralen notwendig und zweckmäßig bleiben [1]).

2. Eine zweite Anordnung ist das Einbettungssystem, also die festliegende Konstruktion der Erdkabel. Hierhin sind auch die namentlich im Auslande angestellten früheren Versuche zu zählen, blanke Leitungen in besonderen Kästen durch Vergießen mit isolierenden Massen einzubetten [2]). Derartige Anlagen bringen es mit sich, daß die Kabel nur nach vorherigem Aufbrechen der Straßenkörper zu erreichen sind, die Straßen müssen deshalb sowohl zur Verlegung neuer Kabel, als auch zur Ausführung von Instandsetzungen aufgegraben werden. Hierdurch entstehen jedesmal hohe Kosten und auch längere Störungen des Straßenverkehrs. Die Aufgrabungen aus Anlaß der Verlegung neuer Kabel können allerdings verringert werden, wenn von vornherein gleichzeitig eine größere Menge von Vorratskabeln eingebettet wird. Auf diese Weise würden indessen große Kapitalien auf mehr oder weniger lange Zeit unter bedeutenden Zinsverlusten nutzlos in die Erde gelegt werden. Es sprechen außerdem noch andere Überlegungen und auch die Erfahrungen der Praxis gegen eine ausgedehnte Verwendung von Erdkabeln. Solche Kabel sind im Erdreich gegen mechanische Beschädigungen und chemische und elektrische Einwirkungen aus fremden Anlagen oft nicht genügend geschützt, so daß der Betrieb unter Umständen in Frage gestellt werden kann. Aus allen diesen Gründen ist jedenfalls das starre System der Verlegung von Erdkabeln, wenn auch die ersten Herstellungskosten gering sind, im allgemeinen nicht zu empfehlen und nur auf Anlagen mit nur einem oder wenigen Kabeln bei hinreichend gesicherten und gleichmäßig bleibenden Verhältnissen zu beschränken.

3. Die erwähnten Übelstände werden bei dem Einziehsystem vermieden. In diese Gruppe gehören alle diejenigen Anlagen, welche derart eingerichtet sind, daß neue Kabel verlegt und alte ausgewechselt werden können, ohne daß der Verkehr in den Straßen wesentlich beeinträchtigt wird. Diesen Bedingungen entsprechen die Kabelkanäle, welche in geeigneten Zwischen-

---

[1]) Es sei darauf hingewiesen, daß z. B. in Paris und Lyon, als einzigen Städten, die unterirdischen Gänge für Kanalanlagen, Wasserrohre usw. auch für Kabelzwecke mit benutzt werden. — [2]) Zu vgl. Anm. 1, S. 152.

räumen durch Einsteigschächte oder Brunnen unterbrochen werden. Wenngleich bei diesem System bei der ersten Einrichtung erhebliche Kosten entstehen, so ist doch der außerordentliche Vorteil vorhanden, daß eine Vermehrung der Leitungen jederzeit mit verhältnismäßig geringen Arbeitskosten erfolgen kann — soweit das Fassungsvermögen der Kanäle ausreicht. Dieses ist von besonderem Vorteil für die oft über jede Erwartung und sprunghaft anwachsenden Fernsprechnetze. Die Kanalanlagen erfüllen nicht nur die Forderung einer möglichst geringen Störung des Verkehrs bei der Kabelverlegung, sondern lassen diese Arbeiten auch in möglichst kurzer Zeit bewerkstelligen. Ein weiterer Vorteil des Einziehkanalsystems besteht darin, daß hierbei die Kabel im allgemeinen nur gegen eine Gefährdung der Isolation geschützt zu werden brauchen, dagegen müssen beim Einbettungssystem auch noch besondere Vorkehrungen gegen mechanische und andere Beschädigungen getroffen werden. Solche Erwägungen sind dann auch für weitgehendste Einführung des Einziehsystems maßgeblich gewesen, zunächst in den großen Städten bereits für die Telegraphenkabel und dann allgemein für Fernsprechkabel.

Um die an und für sich höheren Herstellungskosten auszugleichen, darf allerdings hinsichtlich des ersten Umfanges der zu verlegenden Kanäle nicht nur das augenblickliche Bedürfnis berücksichtigt werden. Es müssen vielmehr, um spätere Aufgrabungskosten — deren Anteil an den gesamten Kanalkosten oft ganz erheblich ist — zu ersparen, die Kanäle im Rahmen der verfügbaren Mittel nach Möglichkeit von vornherein so angelegt werden, daß für eine größere Zahl von Jahren in derselben Linie ein Neubau von Kabelrohren vermieden wird. Man muß auch damit rechnen, daß später der Erdboden durch andere Anlagen derart besetzt sein kann, daß eine Erweiterung der Kabelkanalanlage überhaupt nicht oder nur unter Aufwendung unverhältnismäßig hoher Kosten angängig ist. Ebenso ist es auch zweckmäßig, in den großen Städten beim Ausbau neuer Straßen und Stadtteile möglichst schon gleichzeitig mit den sonstigen Erdarbeiten und noch vor der Pflasterung der Straßen die später erforderlichen Kanäle zu verlegen.

Telegraphenkabelanlagen.

Hinsichtlich der Telegraphenanlagen sind bei der R. T. V. zwei Entwickelungsgänge voneinander zu trennen: der steigende Ausbau des Telegraphenleitungsnetzes — der allerdings jetzt ziemlich zum Abschluß gekommen ist — und die Mitbenutzung der Telegraphengestänge für die Fernsprechverbindungsleitungen.

Abgesehen von den auch aus strategischen und allgemeinen volkswirtschaftlichen Gründen angelegten, im Abschnitt III bereits erwähnten großen unterirdischen Telegraphenlinien sind in den späteren Jahren Kabellinien für Telegraphenzwecke auf große Entfernungen nicht mehr ausgeführt worden, zumal die Land- und Bahnlinien ohne weiteres den notwendigen Ausbau des Leitungsnetzes gestatteten. In den letzten Jahren ist die R. T. V. jedoch aus den rein äußerlichen Gründen des Platzmangels dazu übergegangen, längs der Eisenbahnen die oberirdische Führung der Telegraphenleitungen zugunsten der großen Fernsprechleitungen streckenweise aufzugeben.

Die Vermehrung der Telegraphenleitungen hat also in den letzten Jahrzehnten im Reichstelegraphengebiet eine wesentliche Zunahme an größeren Kabellinien für Telegraphenzwecke nicht mehr herbeigeführt. Die außerordentlich großen Verkehrsstörungen im Telegraphenbetriebe, wie sie durch schwere Unwetter oder plötzliche Witterungsumschläge wiederholt und zuletzt im Herbst 1909 eingetreten sind, und die dann den gesamten Verkehr teilweise vollständig und auf längere Zeit lahm gelegt haben, werden jedoch die Frage nach weiteren Kabellinien auf große Entfernungen immer wieder hervortreten lassen und auch zweifellos im Laufe der Jahre zu einem praktischen Ergebnis führen.

Nach dem augenblicklichen Stande werden im Gebiet der R. T. V. Telegraphenkabel nur ausnahmsweise verlegt, und zwar erstens, wie bereits erwähnt, um die vorhandenen Gestänge auf besonders belasteten kürzeren Strecken für Fernsprechverbindungsleitungen frei zu machen, und ferner, wenn die oberirdische Führung der Leitungen nicht mehr möglich ist. Dieses gilt einerseits für die Auslegung von Kabeln durch Gewässer, Tunnels, über Brücken usw. oder zum Schutz gegen vorhandene oberirdische Starkstromanlagen, dann aber namentlich für die Verlegung von Stadtkabeln in den größeren Städten zur Verbindung der Telegraphenanstalten mit den von der Bebauungsgrenze aus oder auf den Bahnanlagen weiterführenden oberirdischen Linien.

Für Telegraphenkabel sind im allgemeinen weitergehende Überlegungen und Berechnungen nicht erforderlich. Die Zahl der Leitungen ist verhältnismäßig gering. Diese sind außerdem in ihrem dauernden Bestande gesichert. Der zu erwartende Zugang ist bei dem jetzigen Ausbau des Leitungsnetzes unbedeutend, es kann also in der Regel die nach der Adernzahl nächstfolgende gebräuchliche Kabeltype gewählt werden. Nur in großen Städten werden, zugleich für etwaige Störungen, größere Reserven vorzusehen sein, um spätere Auswechselungen zu vermeiden. In den Fällen der Verwendung von papierisolierten Telegraphenkabeln wird es sich empfehlen, an Stelle eines starken Kabels zwei schwächere von der gleichen Gesamtadernzahl zu wählen, da in diesen Kabeln bei Beschädigung der äußeren Hülle leicht umfangreiche Störungen auftreten, die dann den ganzen Telegraphenbetrieb ernstlich in Frage stellen können.

Da im übrigen zur Ersparung von Kosten allgemein auch dahin zu streben sein wird, die Telegraphenkabel möglichst in vorhandenen oder neu herzustellenden Fernsprechkabellinien unterzubringen, so ist der Verlauf der Telegraphenkabel zum großen Teil durch letztere festgelegt.

Fernsprechkabelanlagen.

Erheblich schwieriger liegen die Verhältnisse in den sich schnell und oft über jede Voraussicht entwickelnden Fernsprechnetzen, zumal auch die Benutzung von fremden Grundstücken und Gebäuden häufig nicht zu umgehen ist. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß der gleichzeitige Aufschwung der Starkstromanlagen die Schwierigkeiten der Lage noch vermehrte.

Für den Fernsprechverkehr kam als Anlaß zur Kabellegung in erster Linie die starke Vermehrung der Anschlußleitungen in Betracht. Bei

der durch die bereits erwähnte Hausbesitzererklärung [1]) in großem Umfange gegebenen Möglichkeit der Benutzung von Dächern zur Fortführung der Leitungen konnten jedoch in kleinen und mittleren Ortsfernsprecheinrichtungen Kabel zunächst noch auf längere Zeit entbehrt werden. Als aber nach Einführung des Doppelleitungsbetriebes die Zahl der Betriebsleitungen in jedem Netz auf das zweifache erhöht werden mußte, drängten die Verhältnisse, zugleich mit den wachsenden Anforderungen des Betriebes und der Notwendigkeit einer möglichst störungsfreien und gesicherten Führung der Leitungen, auch in Netzen mäßigen Umfanges bald zu einem beschleunigten Bau von Fernsprechkabelanlagen. Der Doppelleitungsbetrieb hätte jedenfalls in großen Städten ohne ausgedehnte Verwendung von Kabeln überhaupt nicht durchgeführt werden können. Der erste Ausbau ist naturgemäß immer recht teuer, die Kabel haben sich jedoch mit der weiteren Verbesserung ihrer Konstruktion auch für Fernsprechzwecke aus Betriebs- und Wirtschaftsgründen immer mehr das Feld erobert und zu einem unentbehrlichen Gliede der allgemeinen Betriebseinrichtungen entwickelt.

Die gesamte Anlage und Einrichtung eines großen Fernsprechkabelnetzes ist sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Beziehung eine schwierige Aufgabe. Die vielfach verschiedenen örtlichen Verhältnisse stellen oft ganz außerordentliche Anforderungen, deren vollkommene Erfüllung jedoch nur selten möglich ist. Der ganze Plan ist zunächst abhängig von der Lage des Amtes im Ort. Aber auch bei gegebener Lage können noch durch geeignete Unterbringung [2]) der Betriebsräume in dem Gebäude selbst erhebliche Kosten erspart werden. Es ist zweckmäßig, das Umschaltegestell, das die Verbindung der Außenkabel mit den Betriebseinrichtungen bildet, in einem möglichst niedrig gelegenen Stockwerk — allerdings nicht im Keller wegen Gefahren durch Überschwemmung — und, wenn angängig, unmittelbar darüber den Betriebssaal einzurichten. Auf diese Weise können im ganzen nicht nur große Längen an Kabeln erspart werden, sondern es wird auch die Belastung des Gebäudes ermäßigt. Die Hochführung der gesamten, unter Umständen auch bereits aufgeteilten Hauptkabel bis in die oberen Stockwerke des Gebäudes ist in den meisten Fällen nicht wünschenswert (zu vgl. Abschnitt VIII).

Die Zahl der Reserveadern ist nicht allgemein vorzuschreiben. In den großen Fernsprechnetzen kann erfahrungsgemäß ein bestimmter Prozentsatz an freien Adern nicht aufrecht erhalten werden, er wird vielmehr stets und unter Umständen sogar recht bedeutend schwanken, und dieses um so mehr, je stärkere Kabeltypen verwendet werden. Bei den früher infolge des erheblich geringeren Bedürfnisses verwendeten dünneren Kabeln ließ sich mit einem geringen Prozentsatz verfügbarer Adern auskommen, es wurden nur annähernd so viel Adern zu einem Punkt geführt, als gerade gebraucht wurden. Jetzt müssen aber, namentlich in den großen Städten, zur vollen Ausnutzung der von den Ämtern ausgehenden teueren Kanäle ausschließlich hochpaarige Kabel verwendet werden, die teilweise bald, teilweise aber auch nur recht langsam verbraucht werden, so daß eine große Zahl von Adern mehrere Jahre unbesetzt bleiben kann. Dieses läßt sich jedoch nicht ver-

[1]) Anm. 2, S. 131. — [2]) Näheres zu vgl. bei Hersen-Hartz, Die Fernsprechtechnik der Gegenwart, Braunschweig 1910, im 51. Abschnitt.

meiden; es müßten sonst später die einmal verlegten Kabel mit großen Kosten gegen stärkere ausgewechselt werden. Die Zahl der jeweilig freien Adern ist auch abhängig von der Zeit, indem alsbald nach dem Einziehen der Amtskabel ein größerer Prozentsatz vorhanden ist als am Ende des Rechnungsjahres — durchschnittlich wird man in den größeren Fernsprechnetzen etwa mit 25 v. H. Reserveadern rechnen müssen.

Für die Fernsprechverbindungsleitungen bleibt man aus Betriebsrücksichten soweit als möglich bei der oberirdischen Führung, da die elektrischen Eigenschaften der blanken Freileitungen erheblich günstiger für den Sprechverkehr auf größere Entfernungen[1]) sind. Jedoch hat die R.T.V. bei besonderen örtlichen Verhältnissen vereinzelt für Teilstrecken der Fernleitungen Kabel verwenden müssen und dann unter Anwendung besonderer Maßnahmen auch ausreichende Ergebnisse erzielt. Die Einfügung von Kabeln für kurze Zwischenstrecken in längere Verbindungsleitungen oder zur Einführung in die Fernsprechämter gilt zunächst aber nur als Ausweg in Ausnahmefällen. Für den Bezirksverkehr stehen allerdings der allgemeinen Verwendung von Kabeln bei Einschaltung von Selbstinduktionsspulen Bedenken nicht entgegen. Solche Anlagen sind z. B. zur Verbindung von Berlin mit den entfernteren Nachbarorten bereits in größerem Umfange mit bestem Erfolge ausgeführt worden. Im übrigen gelten wegen der Notwendigkeit von Fernsprechkabellinien auf größere Entfernungen zum Schutz gegen Witterungseinflüsse die oben hinsichtlich der Telegraphenkabel gemachten Bemerkungen; schon die schnell wachsende Zahl der großen Fernleitungen wird immer zwingender zu Kabelverlegungen selbst auf längeren Strecken drängen.

Die unterirdische Verteilung der Anschlußleitungen.

Für die Anlage von Kabelnetzen ist die wirtschaftliche Seite von ganz besonderer Bedeutung. Es muß daher zunächst erörtert werden, wie sich die Kosten der oberirdischen und unterirdischen Führung der Anschlußleitungen zueinander stellen. Allgemein gültige Berechnungen hierüber sind allerdings sehr schwierig, da die örtlichen Verhältnisse, die Dichte der Sprechstellen, die Art der verwendeten Verteileranlagen usw. wesentlich in Betracht kommen.

Eine sehr verdienstvolle Arbeit in dieser Richtung ist von dem bayerischen Postrat Schreiber[2]) für die bayerischen Fernsprechnetze angefertigt worden, deren Ergebnisse und Schlußfolgerungen jedoch ohne große Fehler auch auf andere Ortsfernsprechanlagen Anwendung finden können. Diese Betrachtungen schließen mit den Grundsätzen, daß

a) unter Berücksichtigung der Unterhaltungskosten der Bau unterirdischer Kabellinien schon bei 10 Doppelleitungen wirtschaftlicher ist, und daß

b) bei Erweiterung bestehender Ortsfernsprechnetze, eine 25 proz. jährliche Vermehrung des Leitungsbaues zugrunde gelegt, oberirdische Linien mit mehr als 10 Schleifen abzubrechen und durch unterirdische zu ersetzen sind.

[1]) Zu vgl. die Ausführungen über Fernsprechkabel für den Fernverkehr in Abschnitt III., S. 104 ff. — [2]) Zu vgl. E.T.Z. 1906, Heft 50 und 51; ferner E. T. Z. 1909, Heft 33.

Hiernach ist es also verständlich und gerechtfertigt, wenn mit der unterirdischen Führung der Anschlußleitungen allmählich immer weiter vorgegangen wird.

Die Art und Weise, wie die einzelnen unterirdischen Leitungen zu den Sprechstellen gebracht werden, ist recht verschieden. Man kann zwei grundsätzlich voneinander abweichende Einrichtungen unterscheiden, nämlich die sogenannte rein unterirdische Verteilung und die gemischte Führung.

Die rein unterirdische Verteilung, bei welcher die Leitungen vom Amt bis zum Teilnehmer ausschließlich in Kabeln geführt werden, bietet besondere Vorteile in denjenigen Fernsprechnetzen oder deren Teilen, wo die Sprechstellen in großer Zahl auf verhältnismäßig kleine Flächen verteilt sind. Man unterscheidet auch hierbei wieder zwei verschiedene Systeme. Diese haben allerdings das Gemeinsame, daß vom Amt die hochpaarigen Kabel ausgehen und daß zum eigentlichen Anschluß der Sprechstellen an das Fernsprechnetz geringpaarige Kabel in die Gebäude eingeführt werden; unterschiedlich ist aber die Art, wie die Verbindung der Haupt- und Abschluß- oder Verteilungskabel erfolgt.

Das einfachste und älteste System besteht darin, daß in beiden Kabelarten die Summen der Adern einander gleich sind. Die Hauptkabel werden mit den Abschlußkabeln durch geeignete Vorrichtungen fest verbunden, so daß ein solches, sich allmählich aufteilendes Kabel ein starres Ganzes bildet. Der große Nachteil dieses Systems ist der vollständige Mangel an Beweglichkeit. Eine derartige Kabelführung kann im allgemeinen nur für einen ganz bestimmten Versorgungsbezirk in der einmal von vornherein vorgesehenen Weise verwendet werden, Umschaltungen sind recht schwierig und kostspielig. Ferner entstehen bei solchen Anlagen unverhältnismäßig hohe Kosten durch zu große Reserven an Hauptkabeladern. Diese erfordern aber gerade den größten Teil der Anlagemittel, zumal sie auch in der Regel die größere Länge haben.

Es mußte deshalb dazu übergegangen werden, diese starre Verbindung aufzugeben und in die Kabelverteilung Zwischenglieder einzuschalten, welche gestatteten, die Hauptkabel nach dem jeweiligen Bedarf, einschließlich eines mäßigen Zuganges, vom Amte aus bis zu gewissen Aufteilungspunkten zu führen und ihre Verlegung und Stärke unabhängig von der Anlage des Verteilungskabelnetzes für die Zuführung der Sprechstellen zu machen. Ein weiteres Erfordernis war, daß die Trennung der Haupt- und Abschlußkabel und jegliche notwendige Verbindung der einzelnen Kabeladern je nach den örtlichen Verhältnissen ohne Schwierigkeiten und besondere Kosten ermöglicht wurden. Für eine solche Verteilung sind in der Praxis zwei verschiedene Einrichtungen vorhanden. Diese sind eine Art der Verteilung, welche man wohl als Radialsystem bezeichnen kann, und ferner das Multiplexsystem.

Bei der im Reichs-Telegraphengebiet üblichen rein unterirdischen Verteilung nach dem Radialsystem werden die vom Amt ausgehenden hochpaarigen Kabel in den sogenannten Hauptverteilern, den Zwischengliedern zwischen Haupt- und Verteilungskabeln, aufgeteilt. Von diesen Haupt-

verteilern führen die dünneren Verteilungskabel, unter weiterer Aufteilung je nach den örtlichen Verhältnissen in 5- oder 10paarige Kabel[1]), zu den auf den einzelnen Grundstücken angebrachten Einzelverteilern, von denen dann die eigentlichen Sprechstellenzuführungen abgenommen werden — es bestehen also in jeder Anschlußleitung vom Vermittelungsamt bis zum Teilnehmer zwei Schaltstellen, Hauptverteiler (Abb. 138 bis 143) und Einzelverteiler (Abb. 148 bis 151), als Zwischenglieder[2]). Die Kabel gehen strahlenförmig vom Amt, von den Hauptverteilern und von den Einzelverteilern aus.

Die Hauptverteiler, die eine Aufnahmefähigkeit bis zu 300 Doppelleitungen haben, sind für den Anschlußbereich eines abgegrenzten Häuserblocks bestimmt, sie sollen, um eine spätere Erweiterung zu ermöglichen, bei ihrer Aufstellung mit nicht mehr als höchstens 150 Betriebs-Doppelleitungen belastet werden. Die eine, für die eigentlichen Anschlußkabel vorgesehene Seite des Hauptverteilers wird von vornherein für die Grundstücke des Versorgungsbezirks beschaltet, wobei auf eine für längere Zeit ausreichende Reserve Rücksicht genommen wird. An Hauptkabeladern werden jedoch zunächst nur soviel Adern eingeführt, wie nach dem augenblicklichen Bedürfnis, der voraussichtlichen baldigen Vermehrung der Anschlüsse und den verwendeten Kabeltypen erforderlich sind; die nicht sofort eingeschalteten Adern bleiben frei als Vorrat liegen. Sämtliche Schaltungen werden ausschließlich mit den Hauptkabeladern, unter Verbindung mit den Verteilungskabeln, ausgeführt. Außerdem sind die benachbarten Hauptverteiler noch durch besondere 20paarige Verbindungskabel miteinander verbunden. Diese Kabel sind in erster Linie zur Herstellung der Zuleitungen zwischen den Haupt- und solchen Nebenanschlüssen bestimmt, die nahe zusammenliegen, aber an verschiedene Hauptverteiler angeschlossen sind und sonst auf dem Umwege über das Amt verbunden werden müßten. Mittels der Verbindungskabel können ferner beim Fehlen freier Adern in den Hauptkabeln eines Verteilers einzelne der dort durch Verteilungskabel angeschlossenen Sprechstellen über benachbarte Hauptverteiler an das Amt angeschlossen werden. Auf diese Weise ist eine vollständige Ausnutzung der Hauptkabel, das Ziel jeder unterirdischen Verteilung, ermöglicht. Die Hauptverteiler gestatten also, sowohl die Adernzahl der Hauptkabel allein nach der Zahl der Sprechstellen und unabhängig von der Adernzahl der Verteilungskabel zu bemessen, als auch sämtliche Schaltungen, welche aus Anlaß der Vermehrung oder Verminderung der Sprechstellen auf den einzelnen Grundstücken oder durch das Schadhaftwerden einzelner Adern notwendig werden, auszuführen. Es ist übrigens nicht erforderlich, gleich bei der ersten Anlage des Netzes in jedes Grundstück ein besonderes Verteilungskabel einzuführen. Sind nur eine oder zwei Sprechstellen vorhanden und ist keine erhebliche Vermehrung in absehbarer Zeit zu erwarten, so können Abzweigungen von den Einzelverteilern der Nachbargrundstücke aus erfolgen. **Abb. 41** zeigt schematisch die Anlage einer solchen Kabelverteilung[3]) für einen Häuserblock.

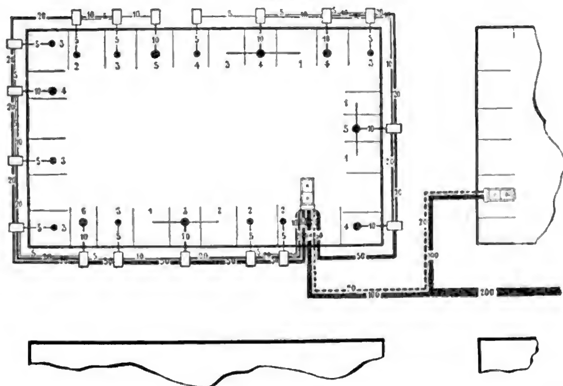
---

[1]) In älteren Anlagen findet man vielfach auch noch Kabel mit der 7-Teilung (zu vgl. S. 22). — [2]) Näheres über Einrichtung der Verteileranlagen siehe Abschnitt VIII. Zu vgl. auch Abb. 43a. — [3]) Die Ziffern der inneren Reihe (z. B. 6, 3, 1, 3 ff.) in dem gezeichneten Grundstück bedeuten die Zahl der vorhandenen Fernsprechanschlüsse, die übrigen die Anzahl der Adernpaare der verlegten Kabel.

Aus der vorstehenden Darstellung ist zu ersehen, daß das an sich mögliche Ziel, in jedes Grundstück nur diejenigen Leitungen einzuführen, die für dasselbe notwendig sind, bei dieser Art der Verteilung nicht in vollem Umfange durchgeführt wird.

Obwohl in der Praxis der R. T. V. wegen unentgeltlicher Unterbringung der Verteiler erfahrungsgemäß häufiger Schwierigkeiten mit den Hausbesitzern auftreten, so ist es im allgemeinen bisher doch gelungen, diese zu überwinden, zumal die R. T. V. durch die schon erwähnte Hausbesitzererklärung ein gewisses Anrecht auf Benutzung zahlreicher Gebäude besitzt. Jedenfalls würde die Unterbringung der Verteileranlagen auf den Straßen eine erhebliche Verschlechterung des ganzen Systems mit sich bringen, das in seiner ganzen Anlage zweifellos eine, wenn auch nicht ideale, so doch zweckmäßige

Abb. 41.

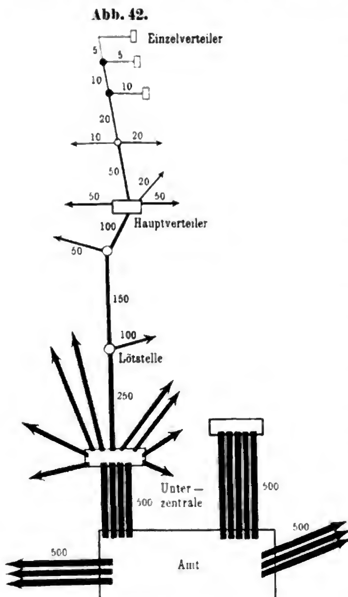


und wirtschaftliche Einrichtung der Fernsprechnetze gestattet. Als Erfolg der unterirdischen Verteilung haben sich denn auch die größere Einfachheit in der Herstellung neuer Anschlüsse, eine erhebliche Abnahme der Störungen und Unterhaltungskosten und eine Verbesserung des ganzen Betriebes ergeben.

In den großen Netzen mit unterirdischer Verteilung der Anschlußleitungen wird sich noch auf besondere Weise, nämlich durch Einrichtung von Unterzentralen, eine fast vollständige Ausnutzung der von den Ämtern ausgehenden Hauptkabel ermöglichen lassen. Man kann nämlich die vom Amt radial abgehenden Stammkabel zunächst linienweise zu kleineren Umschalteeinrichtungen in geeignet gelegenen trockenen Räumen, z. B. in Postdienstgebäuden, führen. In **Abb. 42** ist eine solche Kabelverteilung schematisch dargestellt. Die Kabel enden, wie in den Umschalteräumen der Ämter, an der einen Seite von eisernen Umschaltegestellen, während die wieder strahlenförmig zu den Hauptverteilern weiter verlaufenden schwächeren Hauptkabel von der anderen Seite des Gestells ausgehen. Die Verbindung zwischen den

Kabeln der beiden Seiten erfolgt dabei in der üblichen Weise durch Schaltdrähte. Durch derartige Zwischenverteilungen können die Zahl der Amtsstammkabel und der Umfang des Umschaltegestells im Amt nicht unwesentlich beschränkt, mithin erhebliche Kosten für Kanäle, Kabel und technische Einrichtungen erspart und die Größe der Räume für die Amtseinführungen ermäßigt werden. Auf diese Weise lassen sich z. B. auch bei Verminderung der an einzelne Hauptverteiler angeschlossenen Fernsprechanschlüsse die frei werdenden Amtsleitungen an einem solchen Zwischengestell zu einem neuen Hauptverteilerkabel zusammenfassen und dadurch wieder ausnutzen. Eine derartige Maßnahme wird auch die in der Nähe der großen Zentralen vielfach schon entstehenden Schwierigkeiten in der Unterbringung der erforderlichen Kanäle mildern können.

Abb. 42.



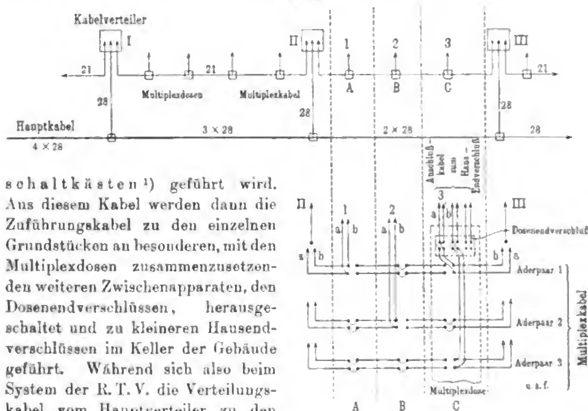
Das System der radialen unterirdischen Verteilung der Anschlußleitungen ist auch in Bayern zunächst üblich gewesen. Die bayerische Telegraphenverwaltung hat jedoch im Jahre 1905 diese Verteilungsart wieder aufgegeben. Dieser Systemwechsel ist auf die ganz erheblichen Weiterungen mit den Hausbesitzern zurückzuführen, da die bayerische Verwaltung nicht das gesetzliche Recht besitzt, bei Herstellung von Fernsprechanschlüssen die Hausbesitzererklärung einzufordern. Der Grundgedanke der neuen bayerischen Verteilung ist daher in erster Linie darauf gerichtet, die Verwaltung von jeder Willkür der Hausbesitzer möglichst unabhängig zu machen und in die einzelnen Gebäude nur diejenigen Einrichtungen zu bringen, welche für die auf den betreffenden Grundstücken herzustellenden Sprechstellen notwendig sind. Für die übrigen Leitungen und sonstigen Vorrichtungen des allgemeinen Leitungsnetzes sollen nur noch die Körper der öffentlichen Wege und Plätze benutzt werden, wozu die Verwaltung nach dem Reichs-Telegraphenwege-Gesetz [1]) vom 18. Dezember 1899 berechtigt ist. Um die mit dem bisherigen System verbundene starre

[1]) Näheres am Schluß dieses Abschnittes, S. 147.

Verlegung der Verteilungskabel zu vermeiden, ist man außerdem noch zu einer grundsätzlichen Änderung in der Kabelverteilung übergegangen.

Wie beim alten System führen auch bei dem neuen Multiplexsystem die entsprechend aufgeteilten Hauptkabel zu dem ersten Zwischengliede, dem Kabelverteiler. Während aber bei der im Reichs-Telegraphengebiet üblichen Verteilung die von den Hauptverteilern ausgehenden Verteilungskabel unmittelbar in die einzelnen Grundstücke geführt werden, ist in Bayern nach Art der Starkstromverteilung von der Vielfachschaltung Gebrauch gemacht worden. Die einzelnen Kabelverteiler werden, wie aus der schematischen Darstellung der **Abb. 43** zu ersehen ist, untereinander durch ein Zwischenkabel verbunden, das in Parallelschaltung über eine Reihe von Multiplex-

Abb. 43.



schaltkästen[1]) geführt wird. Aus diesem Kabel werden dann die Zuführungskabel zu den einzelnen Grundstücken an besonderen, mit den Multiplexdosen zusammenzusetzenden weiteren Zwischenapparaten, den Dosenendverschlüssen, herausgeschaltet und zu kleineren Hausendverschlüssen im Keller der Gebäude geführt. Während sich also beim System der R. T. V. die Verteilungskabel vom Hauptverteiler zu den Einzelverteilern allmählich auflösen, behalten in Bayern die Zwischenkabel von Kabelverteiler zu Kabelverteiler ihre volle Stärke. Beim Radialsystem ist jede Verteilungskabelleitung nur für einen einzigen Anschluß bestimmt, beim Multiplexsystem kann dagegen zwischen zwei Kabelverteilern die Beschaltung einer Leitung für zwei Teilnehmer erfolgen. Gegenüber zwei Zwischengliedern des ersteren Systems vom Amt bis zur Sprechstelle sind in Bayern in die Kabelverteilung vier verschiedenartige Glieder — Kabelverteiler, eine größere Anzahl Multiplexdosen, Dosenendverschluß und Hausendverschluß — vorhanden.

Das bayerische Multiplexsystem stellt nun aber nach seiner Grundlage nicht, wie das System der Haupt- und Einzelverteiler, eine Anlage zur Versorgung von abgeschlossenen Straßenblocks dar, es werden vielmehr eigentlich nur im Zusammenhange stehende Straßenzüge versorgt; aus diesem Grunde schmiegt sich dieses System auch besser als die andere Verteilungsart in ein oberirdisches Netz hinein. Die kleineren Verteiler erlauben, einzelne

[1]) Näheres über diese Verteilerapparate im Abschnitt VIII, Abb. 144 bis 147.

Straßenzüge dort unterirdisch auszubauen, wo die teilweise oberirdische Versorgung nicht mehr genügt oder aus anderen Gründen aufgegeben werden muß. So z. B. wird auch in England die Multiplexschaltung im allgemeinen nur dort verwendet, wo die zu versorgenden Grundstücke weiter auseinander liegen.

Es soll im folgenden versucht werden, in kurzen Zügen einen Vergleich[1]) zwischen den Verteilungssystemen der R. T. V. und Bayerns anzustellen, ohne Rücksicht auf die praktischen Verlegungsarbeiten; im übrigen würde es z. B. für das Prinzip der eigentlichen Verteilung ohne Belang sein, falls man auch die Multiplexverteileranlagen statt in die Straßen, wie beim Radialsystem der R. T. V. in die Gebäude verlegte.

Die bayerischen Kabelverteiler haben zunächst eine erheblich geringere Aufnahmefähigkeit als die Hauptverteiler der R. T. V., sie müssen also in entsprechend größerer Zahl aufgestellt werden. Ein weiterer Unterschied liegt in der Verbindung der Kabel. Im Kabelverteiler werden bei Einrichtung der Anlage die Haupt- und Multiplexzwischenkabel allerdings zunächst noch nicht verbunden, ebenso wie im Hauptverteiler die Zusammenschaltung der Haupt- und Verteilungskabel nur nach Bedarf bei Herstellung von Anschlüssen erfolgt. Hiermit ist dann im letzteren Fall die eigentliche Beschaltung erledigt. Beim Multiplexsystem wird aber noch eine weitere Schaltung in den Vielfachdosen und deren Dosenendverschlüssen erforderlich. Es sind also die Schaltarbeiten bei dem Radialsystem einfacher, da zur Herstellung eines Anschlusses — abgesehen von der eigentlichen Sprechstellenzuführung vom Einzelverteiler (entsprechend vom Hausendverschluß des Multiplexsystems) — nur im Hauptverteiler die Hauptkabeladern an die entsprechenden Verteilungskabelklemmen gelegt zu werden brauchen.

Die Häufung der teuren und auch immerhin eine mögliche Störungsquelle darstellenden Verteileranlagen bei der Vielfachschaltung ist jedenfalls ein Nachteil gegenüber dem System der R. T. V. Diese Schwierigkeit wird noch erhöht durch Unterbringung der sämtlichen Anlagen in den Straßen und würde in Fernsprechnetzen mit einer besonders großen Beweglichkeit und häufigem Wechsel in der Einrichtung der Sprechstellen eine solche, zu mehrfachen Schaltungen zwingende Verteilung bedenklich erscheinen lassen. Andererseits verdient aber das in Bayern gewählte System den Vorzug bei großen baulichen Veränderungen in einer Stadtgegend oder bei Erschließung eines Stadtviertels für intensivere Grundstücksbenutzung, z. B. bei Umwandlung in Miethaus- oder Industrieviertel, da es mittels der Vielfachdosen ohne weiteres möglich ist, die Verteilung der Adern auf die einzelnen Grundstücke auch nachträglich ganz beliebig zu regeln. Hiergegen ist e. F. die Verlegung eines Hauptverteilers schwieriger und vor allem recht kostspielig.

Neben den Verteilerapparaten liegt in den Kabelanlagen selbst ein wesentlicher Unterschied der beiden Systeme. Die Ausnutzung der einzelnen Verteilungskabel zwischen den Haupt- und Einzelverteilern ist bei der R. T. V. oft recht unwirtschaftlich, da in der Regel ein größerer Teil der Adern un-

---

[1]) Zu vgl. auch Aufsatz des Verfassers „Die unterirdische Verteilung der Anschlußleitungen“ in „Blätter für Post und Telegraphie“, III. Jahrgang, (1907), Heft 14 und 15.

beschaltet bleiben wird. Demgegenüber läßt die Vielfachschaltung in größerem Umfange eine wirtschaftliche Verwendung der Zwischenkabel von zwei Seiten zu, wenngleich nicht zu verkennen ist, daß auch bei dieser Verteilung recht hohe Kosten für den Anschluß der einzelnen Sprechstellen an die Kabelverteiler entstehen und auch längere Strecken dauernd unbeschaltet liegen bleiben können. Der große Vorteil der Multiplexschaltung besteht in der Hauptsache darin, daß die freien Adern des Kabels in jeder einzelnen Vielfachdose zur Verfügung stehen, daß es also ganz gleichgültig ist, in welches Grundstück Fernsprechanschlüsse einzuführen sind. Diese vollkommene Beweglichkeit und Ausnutzungsmöglichkeit der Zwischenkabel, auch bei Aufhebung von Anschlüssen, sind ein ganz bedeutender Vorzug gegen das hinsichtlich der Verteilungskabel starre System der R. T. V., und dieser Vorteil wird um so mehr zur Geltung kommen, je weniger stetig die Verhältnisse in einem Fernsprechnetze sind.

Eine sehr wichtige Frage ist die Ausnutzung der Hauptkabeladern. Hierin steht das ältere System der neuen Verteilungsart gegenüber zum mindesten nicht nach, da die Hauptverteiler die Beschaltung bis zur letzten Ader ermöglichen — doch kommen für die Beschaltungsmöglichkeit die örtlichen Verhältnisse wesentlich mit in Betracht.

Zur Erweiterung einer vollbesetzten Kabelanlage in einem Häuserblock sind bei beiden Systemen neue Verteiler aufzustellen und neue Hauptkabel zu verlegen. Dieses gestaltet sich bei dem bayerischen Systeme insofern einfacher, als der neue Kabelverteiler direkt in die Vielfachkabellinie zwischen zwei vorhandene Kabelverteiler eingeschaltet und mit dem bereits verlegten Multiplexkabel nach beiden Seiten verbunden wird. Ebenso ist es auch möglich, an jeder beliebigen Stelle eine neue Multiplexdose in das Zwischenkabel einzustellen. Je dichter also in einer Gegend das Sprechstellennetz wird, um so enger schließen sich die Kabelverteiler und Multiplexdosen aneinander an. Für die Grundstücksversorgung bleiben nur die von vornherein verlegten Zwischenkabel, die neuen Reserven werden ausschließlich durch Einschaltung neuer Kabelverteiler mit ihren Hauptkabeln gewonnen. Hierdurch wird aber unter Umständen wieder eine Anhäufung der Kabelverteiler in den einzelnen Häuserblocks erforderlich. Andererseits ist die Verwendung der Hauptverteiler wegen ihres größeren Versorgungsbereiches und infolgedessen der Notwendigkeit der Verlegung längerer Verteilungskabel im einzelnen kostspieliger als die Einschaltung der bayerischen Kabelverteiler. Diese haben eine erheblich geringere Aufnahmefähigkeit von im allgemeinen nur 28 Doppelleitungen, zum Anschluß an die nach den beiden Seiten abgehenden 21 paarigen Multiplexkabel — die übrigen sieben Adernpaare werden zur Verbindung nach anderen Kabelverteilern verwendet. Es ist aber doch nicht von der Hand zu weisen, daß die Kosten für die größere Zahl der Kabelverteiler und für die Einführung der zahlreichen Hausanschlußkabel die für die erste Einrichtung der Hauptverteiler der R. T. V. aufzuwendenden Mittel wohl übersteigen können.

Die wirtschaftliche Seite der Frage läßt sich ohne die Möglichkeit des praktischen Vergleiches unter denselben örtlichen Verhältnissen nur schwer beurteilen, zudem kommen neben den ersten Anlagekosten auch wesentlich die bei Einrichtung und Abbruch von Sprechstellen und die durch die laufenden

Unterhaltungsarbeiten entstehenden Kosten mit in Betracht. Zweifellos übersteigen bei dem System der R. T. V. die Aufwendungen für die Verteilungskabel, welche zudem oft garnicht voll ausgenutzt werden können, die entsprechenden Kosten für die bayerischen Multiplexkabel. Andererseits scheinen bei der letzteren Verteilung größere Kosten für Hauptkabel erforderlich zu werden, dazu kommt ein Mehraufwand für die Verteilerapparate. Ein abschließendes vergleichendes Urteil läßt sich erst durch längere praktische Erfahrung bilden.

Voraussichtlich wird auch für die Fernsprechnetze der R. T. V. ein Einlenken in die Richtung der Multiplexverteilung zweckmäßig werden, besonders wenn erst die Versuche mit dem Gesellschaftsanschlußbetrieb ein befriedigendes Ergebnis erzielt haben, so daß die Einführung dieser, wegen der erheblich besseren Ausnutzung der einzelnen Kabelleitungen sehr erwünschten Betriebsart in größerem Umfange mit Erfolg vorgenommen werden kann. Bei dieser Einrichtung fallen die unterschiedlichen Begriffe und Schaltungen von Haupt- und Nebenstellen gänzlich fort, die an eine gemeinsame Stammleitung anzuschließenden Sprechstellen werden sämtlich in Parallelschaltung von dieser abgezweigt.

Die R. T. V. hat sich denn auch den besonderen Vorzügen der Multiplexverteilung nicht verschlossen und vergleichende Versuche mit diesem System zunächst in zwei größeren Ortsfernsprechnetzen [1]) angeordnet. Abgesehen von einer veränderten Konstruktion [2]) der Verteileranlagen, die jedoch das angewendete Prinzip nicht beeinflußt, vielmehr nur eine bessere Isolation der Kabeladern gewährleisten soll, ist nach dem Muster Bayerns, mit gleicher Aufnahmefähigkeit der Verteiler und ihrer Unterbringung in den Straßen, verfahren worden. Betriebsergebnisse sind noch nicht bekannt geworden.

In Amerika hat man weitergehend die beiden Verteilersysteme gelegentlich noch in der Weise vereinigt, daß die Verteilungskabel nicht vollständig in kleinere Kabel aufgeteilt werden, sondern daß ein Teil der Adern durch das ganze Verteilungskabel vom Hauptverteiler aus als Multiplexkabel geführt wird.

Die gemischte Verteilung.

Die durchweg unterirdische Verteilung bietet, vom wirtschaftlichen Standpunkte aus betrachtet, nur in verhältnismäßig dicht besetzten Fernsprechnetzen Vorteile. In allen anderen Fällen, ferner in den Außenbezirken der großen Netze oder auch dort, wo nach dem städtischen Bebauungsplan die unterirdische Führung der Anschlußleitungen in ihrer ersten Anlage noch keinen dauernden Bestand verspricht, muß die oberirdische Verteilung vorläufig beibehalten werden. Indessen ist auch bei überwiegend oberirdischer Führung eine möglichst ausgedehnte Verwendung von Kabeln anzustreben. Dieses System ist bei der R. T. V. in großem Umfange durchgeführt.

In derartigen Fällen ist ein größerer Häuserblock als ein abgeschlossenes Ganzes zu betrachten und mit einem besonderen Kabel zu versorgen, das an einem geeigneten Gebäude hochgeführt wird und die unmittelbare Verbindung mit dem Amt darstellt. Die Adern des Kabels werden bei der Hochführung

[1]) Hannover und Frankfurt (Main). — [2]) Zu vgl. Abschnitt VIII.

am eisernen Dachgestänge mit den oberirdischen Sprechstellenzuführungen verbunden. Man vermeidet hierbei im Bereich der R. T. V. oberirdische Straßenüberschreitungen möglichst ganz — sie werden höchstens mit einzelnen Leitungen zugelassen —, um beim etwaigen Reißen von Drähten Verkehrsstörungen und auch Gefahren durch elektrische Bahnen hintanzuhalten. Die Größe der Versorgungsbezirke muß im umgekehrten Verhältnis zur Verkehrsbedeutung der Örtlichkeit stehen, so daß die einzelnen Gebiete bei richtiger Einteilung ohne Rücksicht auf ihre verschiedene Größe ungefähr für die gleiche Anzahl von Fernsprechanschlüssen vorgesehen sind. Solche Kabelaufführungspunkte werden jetzt im allgemeinen nur noch bis zu 50 Doppelleitungen eingerichtet, damit die zur Herstellung der Anschlüsse erforderlichen oberirdischen Linienzüge eine geringe Belastung erhalten. Diese kleineren Aufführungspunkte haben weiterhin den großen Vorteil, daß bei etwa notwendig werdenden Verlegungen die Kosten ermäßigt und im Falle der Zerstörung der

Abb. 43a.

Hochführung durch Schadenfeuer usw. Betriebsstörungen in größerem Umfange oder von längerer Dauer vermieden werden.

Als Abschluß der Kabel dienen in solchen Fällen besondere Vorrichtungen, Überführungskästen genannt, die, ebenso wie die Hauptverteiler bei der unterirdischen Verteilung, das Zwischenglied zwischen den vom Amte kommenden Kabeln und den Zuführungen zu den Sprechstellen bilden. Zwischen diesen beiden Verbindungseinrichtungen besteht jedoch ein ganz wesentlicher Unterschied: Der Überführungskasten bildet lediglich den Abschluß des Kabels vor Übergang zu den oberirdischen Leitungen, er muß also mindestens so viel Kabeladern enthalten, als weitergehende Zuführungsleitungen vorhanden sind. Der Hauptverteiler dagegen stellt einen solchen Abschluß nicht dar, da die Leitungen unterirdisch weitergeführt werden, außerdem hat er die wichtige Aufgabe der Regelung und Beschränkung des Bedarfs an Hauptkabeladern, unabhängig von der hier umgekehrt erheblich größeren Zahl der von vornherein verlegten Sprechstellenleitungen.

Die gemischte Verteilung ist ganz besonders in England und Amerika beliebt und wird dort auch mitten in den größten Netzen in abgegrenzten kleineren Teilen je nach der Anzahl der Sprechstellen — z. B. zur Versorgung der an einzelnen Querstraßen liegenden Grundstücke — häufig ange-

wendet; dieses Verfahren gestaltet sich in solchen Fällen oft bedeutend billiger als die rein unterirdische Zuführung. Die Abschlußmaterialien sind derartigen kleineren Anlagen besonders angepaßt.

In **Abb. 43a** ist schematisch die Linienführung zwischen dem Vermittelungsamt und den Sprechstellen nach dem System der R. T. V. für unterirdische (zu vgl. Abb. 41) und gemischte Verteilung dargestellt. Von der Sprechstelle *A* führt die Leitung zunächst zu dem Einzelverteiler *a*, weiter über einen Abzweigkasten zu dem Hauptverteiler *b*, der durch einen Kanal mit dem Kabelbrunnen *e* verbunden ist. Von hier zweigt ein anderes Kabel nach dem Aufführungspunkt *d* ab, der das Abspanngestänge *c* trägt und den Übergang zur oberirdischen Leitung vermittelt; der Anschluß nach der Sprechstelle *B* ist mit blanker Leitung hergestellt. Von dem Brunnen *e* sind die beiden von *b* und *d* kommenden Kabel als gemeinsames Kabel in den Kanal *f* mit anderen Hauptkabeln zum Amt geführt und endigen dort in Verbindungsmuffen *g*, die mit dem Umschaltegestell *h* wieder durch weitere Kabel verbunden sind. Die Zuführung zu dem Apparatsystem *i* erfolgt schließlich durch die Schaltdrähte des Umschaltegestelles und besondere Zimmerleitungskabel.

Rechtliche Grundlagen für die Benutzung der Straßenkörper.

Die Befugnisse der Telegraphenverwaltungen [1]) des Deutschen Reiches zur Benutzung der öffentlichen Straßen bei der Herstellung von ober- und unterirdischen Telegraphen- und Fernsprechlinien entbehrten bis zum Erlaß des Telegraphenwege-Gesetzes einer reichsgesetzlichen Grundlage. Die vorher bestehenden Ansprüche gründeten sich, abgesehen von kleineren Gebietsteilen, für die durch besondere Wegegesetze vereinzelte Bestimmungen über die Benutzung von Wegen durch die Telegraphenbehörden getroffen waren, lediglich auf Abkommen mit Staats- und Kommunalbehörden, deren Zuständigkeit die Verfügung über die für Telegraphenzwecke zu benutzenden Straßen unterlag. Die Rechte der Telegraphenverwaltungen hatten infolgedessen in den verschiedenen Gebietsteilen ganz verschiedenartige Grundlagen und demgemäß eine voneinander abweichende Begrenzung.

Besonders große Bedeutung hatten für das Gebiet des ehemaligen Norddeutschen Bundes die durch die Beschlüsse des Bundesrates vom 21. Dezember 1868 und vom 25. Juni 1869 getroffenen Anordnungen über die den Eisenbahnverwaltungen und den Straßenbauverwaltungen im Interesse der Telegraphenverwaltung obliegenden Verpflichtungen gewonnen. Hinsichtlich des ersteren Beschlusses von 1868 muß darauf hingewiesen werden, daß eine gesetzliche Regelung der Benutzung der Eisenbahnlinien für Telegraphenzwecke noch nicht erfolgt ist, daß also für die an den Bahnen anzulegenden Telegraphenlinien — in dem Bereich des früheren Norddeutschen Bundes — auch jetzt noch lediglich die Vorschriften dieses Beschlusses maßgeblich sind. Hiernach hat die Eisenbahnverwaltung die Benutzung des Eisenbahngeländes, das außerhalb des vorschriftsmäßigen freien Profils liegt und nicht zu Seiten-

[1]) Näheres s. Begründung zum Entwurf des Telegraphenwege-Gesetzes. Archiv für Post und Telegraphie 1899, S. 348 ff.

gräben, Einfriedigungen usw. verwendet wird, zur Anlage von Telegraphenlinien unentgeltlich zu gestatten. Zur Anlage der unterirdischen Telegraphenlinien soll in der Regel diejenige Seite des Bahnterrains benutzt werden, welche von den oberirdischen Linien im allgemeinen nicht verfolgt wird. Über die nähere Ausführung dieses Beschlusses sind von der R. T. V. mit einzelnen Eisenbahnverwaltungen besondere Verträge abgeschlossen worden, so z. B. mit der preußischen Eisenbahnverwaltung unterm 8. September/28. August 1888. Ebenso ist ein Vertrag mit der sächsischen Verwaltung unterm 25. Januar 1867 zum Abschluß gebracht worden.

Dem Bundesratsbeschluß von 1869 betr. die Benutzung der Straßen war vor Erlaß des Telegraphenwege-Gesetzes infolge der eigenartigen Entwickelung der Wegeverhältnisse nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der Kunststraßen unterworfen. Im übrigen waren die Telegraphenverwaltungen, namentlich auch hinsichtlich der Benutzung der Gewässer, lediglich auf Entgegenkommen angewiesen, so daß durch den Widerspruch eines einzigen Besitzers die Herstellung einer im Verkehrsinteresse dringend notwendigen Telegraphenlinie erschwert und sogar ganz unmöglich gemacht werden konnte. Wenn trotzdem im allgemeinen die Benutzung der Straßen zugestanden wurde, so lag dieses vielfach an dem geringeren Interesse, das die Wegebehörden an einer Verweigerung besaßen. Diese Verhältnisse änderten sich jedoch erheblich, als mit der fortschreitenden Entwickelung der Starkstromtechnik bei den Kommunalbehörden der Wunsch immer mehr hervortrat, den Erdkörper ihrer Straßen den zur Förderung ihrer lokalen Interessen dienenden Starkstromanlagen vorzubehalten. Bei dem außerordentlichen Anwachsen der Fernsprechnetze wurden auf diese Weise an manchen Orten schließlich vollständig unhaltbare und verkehrshemmende Zustände geschaffen, die dringend eines gesetzlichen Eingriffs bedurften.

Aus diesen Erwägungen heraus ist das Telegraphenwege-Gesetz vom 18. Dezember 1899 entstanden. Der leitende Gedanke dieses Gesetzes dehnt die Zweckbestimmung der öffentlichen Wege auf Benutzung durch die zu öffentlichen Zwecken dienenden Telegraphenanlagen der staatlichen Anstalten aus, jedoch nur insoweit, als der bisherige geschichtlich begründete Zweck, der Gemeingebrauch für Gehen, Reiten und Fahren, dadurch nicht leidet. Eingeschlossen worden sind die öffentlichen Brücken und Gewässer und deren dem öffentlichen Gebrauch dienenden Ufer. Auf die Einzelheiten des Gesetzes kann hier nicht eingegangen werden, es sei nur noch erwähnt, daß den besonderen Anlagen der Wegeunterhaltungspflichtigen eine berechtigte Bevorzugung zugestanden worden ist. Die R. T. V. und ebenso die Kgl. bayerische und Kgl. württembergische Verwaltung besitzen also unter gewissen im Gesetz besonders angegebenen Beschränkungen ein gesetzliches Recht auf Benutzung des Erdkörpers der Verkehrswege usw., sofern sie die im Gesetz vorgesehenen Bedingungen erfüllen. Als solche ist in erster Linie das durch § 7 vorgeschriebene Planfeststellungsverfahren zu nennen, das als ein Teil der Vorbereitungsarbeiten einer jeden Herstellung von Telegraphen- oder Fernsprechlinien, also auch der Kabelanlagen, vorausgehen muß. Die Benutzung von Privatgrundstücken bleibt auch fernerhin besonderer Vereinbarung überlassen.

Mit der stetigen Entwickelung der sonstigen im Straßenkörper unterzubringenden Rohr- und Kabelanlagen machen sich jedoch wieder immer mehr

Schwierigkeiten geltend, den für den Ausbau des unterirdischen Telegraphen- und Fernsprechnetzes notwendigen Platz zu gewinnen. Besonders wird in den großen Städten die Benutzung des Bürgersteiges teilweise gänzlich behindert. Dieses ist ein großer Nachteil, da die Kabelanlage im Fahrdamm nicht nur erheblich teurer wird, sondern auch die Arbeiten zu ihrer Herstellung und Unterhaltung durch den Wagenverkehr außerordentlich erschwert werden. Um eine gedeihliche Entwickelung aller beteiligten Anlagen zu fördern und Streitigkeiten von vornherein zu vermeiden, hat sich der Abschluß besonderer Vereinbarungen [1]) sehr gut bewährt, durch welche seitens der städtischen Behörden jeder einzelnen am Straßenkörper interessierten Verwaltung allgemein ein ganz bestimmter Raum zugestanden wird, der ohne besonderes Einvernehmen nicht überschritten werden darf. Für die Kabelanlagen der R. T. V. wird hierbei nach Möglichkeit der Raum nächst den Hausfluchtlinien zu erstreben sein. Billige Wünsche der Kommunen in betreff der Ausgestaltung der Kabelanlage werden sich stets erfüllen lassen, vorausgesetzt, daß keine Bedingungen verlangt werden, die die im Gesetz bestimmte Gerechtsame der R. T. V. beeinträchtigen würden.

[1]) Derartige Vereinbarungen sind z. B. auf Grund sogenannter Normalprofile mit sämtlichen Gemeinden von Groß-Berlin abgeschlossen worden.

Fünfter Abschnitt.

Kabelkanalanlagen.

Allgemeines.

Die Kabelkanäle bilden die Grundlage für das im Abschnitt IV (S. 132) erwähnte Kabeleinziehsystem. Ihre Konstruktion und Verlegung sind in den verschiedenen Zeiten der Entwickelung der Kabeltechnik und in den einzelnen Ländern außerordentlich mannigfaltig, so daß es unmöglich ist, im Rahmen dieser Abhandlung mehr als nur eine Übersicht über die allgemeinen Grundsätze für ihre Verwendung und über die gegenseitigen Vor- und Nachteile der hauptsächlich gebräuchlichen Systeme zu geben. Es würde jedoch nicht richtig sein, ohne weiteres eins der verwendeten Systeme allgemein als das brauchbarste und vorteilhafteste zu bezeichnen, da die örtlichen Verhältnisse oft von ausschlaggebender Bedeutung sind und selbst zu sonst weniger gebräuchlichen Einrichtungen zwingen können.

Einen wesentlichen Faktor für jede Kanalanlage bildet das Raumerfordernis. Es liegt auf der Hand, daß den verschiedenartigen Zwecken der sämtlichen an der Ausnutzung des Straßenkörpers interessierten Verwaltungen nur dann einigermaßen genügt werden kann, wenn jede derselben sich so viel als möglich einschränkt. Solche Einschränkungen sind allerdings immer nur bis zu einer gewissen Grenze möglich, wenn die Anlage nicht von vornherein unwirtschaftlich werden soll, zumal bei späteren Erweiterungen die Schwierigkeiten der Unterbringung oft ganz unverhältnismäßig erhöht werden. Dabei kommt für die Kostenfrage nicht nur die Erdverdrängung in cbm, sondern auch die Ausdehnung der Pflasterarbeiten in qm in Betracht. Die Ausnutzung des verfügbaren Raumes ist von dem ganzen Umfange der zu verlegenden Anlage und von der Form der Kabelkanäle abhängig. Die Frage läuft somit darauf hinaus, den Kanälen einen solchen Querschnitt zu geben, daß sie die Unterbringung der Kabel in einem tunlichst geringen Raume gestatten. Solche Überlegungen sind ganz besonders dann notwendig, wenn — wie es z. B. in Amerika meistens der Fall ist — die Telephongesellschaften für jedes Kubikmeter des beanspruchten Untergrundes oder für jede verlegte Kabelader, sowie für die Berechtigung zum Einbau der Brunnen und Einsteigöffnungen hohe jährliche Gebühren an die städtischen Behörden zahlen müssen.

Für einzelne Kabel ist ohne weiteres die kreisrunde Form der Kanalrohre gegeben. Bei den Kanälen zur Aufnahme einer größeren Kabelzahl kommen im wesentlichen zwei Querschnittsformen, die kreisrunde und die rechteckige, in Betracht. An und für sich würde für eine Lage Kabel die rechteckige Form am geeignetsten erscheinen. Die Praxis hat indessen

ergeben, daß für mehrere Kabel ein kreisrunder Querschnitt vorzuziehen ist, weil sich mehrere Kabel in einem kreisförmigen Kanalrohre im allgemeinen enger an- und übereinander lagern. Andererseits sprechen jedoch wieder Gründe des praktischen Kanalbaues für den rechteckigen Querschnitt. Gegen die Vollrohre sind auch noch manche andere Bedenken geltend zu machen, wie weiter unten ausgeführt werden wird. Von großer Bedeutung ist fernerhin die Widerstandsfähigkeit des Querschnittes gegen die vorkommenden Belastungen, und in dieser Beziehung verdient für Kanäle mit Mehrfachlagerung der Kabel zunächst theoretisch wieder die kreisrunde Form den Vorzug.

Vom technischen Standpunkte sind an einen Kabelkanal folgende allgemeine Anforderungen zu stellen:

1. Das Material an sich muß dauerhaft und möglichst widerstandsfähig gegen Fäulnis oder sonstige chemische Einflüsse sein. Feuerfestigkeit oder Sicherheit gegen starke Erhitzungen kommen im allgemeinen weniger in Betracht, doch können auch diese Erfordernisse, z. B. bei Kurzschlüssen in benachbarten Starkstromkabeln, wohl von Bedeutung sein, wenn die Kanäle nicht ausreichend gegen solche Gefahren geschützt sind.
2. Der Kanal muß genügende Festigkeit gegen die möglichen mechanischen Beanspruchungen besitzen.
3. Der Kanal soll möglichst gas- und wasserdicht sein. Absolut geschützt ist allerdings keine einzige Anlage, da der Abschluß an den Enden der Kanäle nicht vollständig gedichtet werden kann.
4. Die einzelnen Werkstücke sollen nicht zu groß und schwer sein, bei der Zusammensetzung eine gewisse Bewegungsfreiheit im Querschnitte des verfügbaren Raumes und unter Umständen auch in der Richtungslinie gestatten und nach ihrer Verlegung einen sicheren Zusammenhang untereinander gewährleisten, so daß sich der Kanal bei Untergrabungen oder Unterspülungen auf eine gewisse Länge frei trägt. Die einzelnen Stücke müssen vollständig gerade und von gleichmäßigem Querschnitt sein.
5. Die Kabelrohre sollen im Innern so glatt sein, daß die Kabel ohne Beschädigung auf größere Strecken durchgezogen werden können.
6. Das Material darf auf die in die Kanäle eingezogenen Kabel keinen schädlichen Einfluß ausüben.
7. Der Aufbau soll möglichst rasch vonstatten gehen.
8. Die Beschaffungs- und Verlegungskosten sollen relativ möglichst gering sein und die Unterhaltungskosten ein Minimum betragen.

Die in wirtschaftlicher Beziehung zu stellenden Forderungen sind in den vorstehenden Punkten zum Teil schon enthalten; weitere allgemein gültige Anforderungen sind schwer aufzustellen, da der Umfang des Kabelnetzes, die Örtlichkeit, das Material der Werkstücke und die Möglichkeit ihrer Beschaffung, der spätere Ausbau und manche andere Umstände maßgeblich sind; Vergleiche können daher immer nur unter Vorbehalt angestellt werden.

Wie oben angedeutet, bestehen zwei grundsätzlich verschiedene Systeme der Kanalanlagen: zunächst ein System, bei dem mehrere Kabel in derselben Kanalöffnung Platz finden, und dann das Einzelrohrsystem, das für jedes Kabel ein besonderes Lager aufweist.

Das sogenannte Vollrohrsystem ist zuerst eingeführt worden. Trotz aller Verbesserungen beim Einziehen der Kabel besteht jedoch hierbei immer die Gefahr, daß Verschlingungen der Kabel miteinander oder mit dem Zugseil vorkommen, wodurch dann große Zeitverluste und auch Beschädigungen verursacht werden können. Schwerwiegender ist aber der Umstand, daß aus den gefüllten Rohren die Kabel aus den unteren Lagen nur mit großer Mühe oder überhaupt nicht wieder herausgezogen werden können (s. S. 208), da die Last der übergelagerten Kabel zu groß ist, und da auch durch Verrosten der Schutzdrähte oft ein Zusammenbacken der einzelnen Kabel herbeigeführt wird. In solchen Fällen werden die Beseitigung von Fehlern und der Ersatz schadhafter oder veralteter Kabel meistens unmöglich sein oder doch zum mindesten sehr erschwert und verteuert werden. Vielfach kann zudem der Raum im Rohr nicht genügend ausgenutzt werden, weil infolge von Verschlingungen und schlechter Lagerung der bereits vorhandenen Kabel die Durchführung neuer Kabel gar nicht mehr möglich ist (s. S. 155).

Die Anwendung dieses Vollrohrsystems bleibt aus den erwähnten Gründen im allgemeinen nur noch auf besondere Fälle beschränkt. So z. B. werden bei der R. T. V. die dünnen Verteilungskabel (zu vgl. Abb. 41 und 43a) von den Hauptverteilern zu den Sprechstellen stets in gemeinsamen Kanalrohren — jedoch getrennt von den Hauptkabeln — verlegt. Dieses ist aber bei der niedrigen Adernzahl und dem geringen Gewicht der hierfür gebräuchlichen Kabel unbedenklich und sogar aus wirtschaftlichen und technischen Gründen durchaus erforderlich.

Die Mängel des Vollrohrsystems werden durch das Einzelrohrsystem beseitigt, bei dem für jedes Kabel ein besonderer Rohrzug vorgesehen wird, und das daher gestattet, jederzeit ein beliebiges Kabel herauszuziehen und durch ein neues zu ersetzen.

Bei den Einzelrohrkanälen[1]) sind wieder zwei verschiedene Konstruktionen zu unterscheiden: Das Blocksystem, bei dem die Formstücke mit mehreren Öffnungen für die einzelnen Kabel versehen sind, und das eigentliche Einzelrohrsystem, bei dem für jedes Kabel auch ein besonderes Rohr verlegt wird. Für das erstere System kommen im allgemeinen Blöcke in drei verschiedenen Grundformen in Betracht: Der rundgeformte Block, derjenige mit würfelförmigem Querschnitt und die rechteckige Platte. Als Voraussetzung für ein solches System gilt allgemein, daß die Bauart der einzelnen Stücke derart gestaltet ist, daß die Möglichkeit eines gegenseitigen Verschiebens nach der Verlegung vermieden wird, d. h., daß der Kanal in seiner ganzen Länge eine praktisch ausreichend starre Anlage darstellt.

Einen Übergang vom Vollrohr- zum Einzelrohrsystem bilden die Kanäle aus Halbmuffen, bei denen mehrere Kabel zwar in dieselbe Öffnung, jedoch nur in einer einzigen Lage eingezogen werden.

Materialien für Kabelkanäle.

Holz ist das für Kanalanlagen in Amerika zuerst üblich gewesene Material, und zwar wurde kreosotiertes Kiefernholz verwendet, sowohl für

[1]) Zu vgl. Rühl, Fernsprechkabelkanäle mit Einzelöffnungen; Archiv für Post und Telegraphie 1902, S. 213 ff.

Rinnenbettung[1]), als auch für Einzellagerung nach dem Einzelrohr- oder Blocksystem. Holz hat jedoch den Nachteil der Fäulnis, die trotz bester Imprägnierung nicht immer fernzuhalten ist. Es bilden sich infolgedessen chemische Verbindungen, die den Kabelbleimantel angreifen. Holzkanäle werden nur noch wenig benutzt, sie dienen jetzt in der Hauptsache zur Führung von Kabeln über Brücken, durch Tunnels usw., also in der Regel nur auf kurze Strecken als Ersatz für eine andere, an diesen Stellen nicht mögliche Führungsart.

Für Eisenrohre wird im allgemeinen Gußeisen verwendet, nur für besonders beanspruchte Kanalstrecken werden die Rohre aus Stahl angefertigt. Die Gußeisenrohre sollen nach den Vorschriften der R. T. V. aus bestem Material hergestellt, frei von Gießfehlern, sorgfältig abgeputzt und gereinigt sein und sich mit Meißel und Feile bearbeiten lassen. Die Stahlrohre müssen aus Siemens-Martinstahl gezogen und der Länge nach mit Überdeckung geschweißt sein. Sämtliche Eisen- oder Stahlrohre sollen von gleichmäßiger Wandstärke, genau kreisrund und im Innern vollständig glatt ohne Vorsprünge und Unebenheiten sein. Sie werden zum Schutz gegen Verrosten innen und außen mit einem gleichmäßigen, fest haftenden, unter Umständen eingebrannten Asphaltanstrich versehen. Dieser Anstrich soll zugleich die Bleimäntel der in Einzelrohre eingezogenen unbewehrten Kabel gegen elektrolytische Zersetzung schützen.

Ton ist im reinen Zustande die wasserhaltige kieselsaure Tonerde, sonst aber ein Gemenge dieser Erde mit Sand und Kalkstein. Er saugt begierig Wasser auf und wird dann formbar, schwindet beim Trocknen und nachherigem Brennen und wird dabei äußerst hart.

Für eine Reihe von Formstücken wird bester Portlandzement[2]) verwendet. Dieser ist eine graue, mehlige, sich scharf anfühlende, bläulich- oder grünlich-graue Masse, ein künstlich erzeugter hydraulischer Kalk aus einer Mischung von 75 Teilen kohlensaurem Kalk und 25 Teilen Ton, die bei hoher Temperatur bis zur Sinterung gebrannt und dann zu Pulver zerkleinert wird. Die Güte des Materials hängt von der Beschaffenheit der Rohstoffe, besonders von der des Tons, von ihrer innigen und gleichmäßigen Mischung, der richtigen Temperatur beim Brennen und der Feinheit der Mahlung ab. Das Produkt erstarrt, mit Wasser zu einem Brei angerührt, nach einiger Zeit und heißt dann „abgebunden“, wenn es dem Druck des Fingernagels nicht mehr nachgibt, also eine gewisse Festigkeit erreicht hat. Ist dieser Zustand in weniger als zwei Stunden erreicht, so heißt der Zement rasch bindend, bei längerer Zeit langsam bindend. Nach dem Abbinden beginnt erst die eigentliche Erhärtung, die sich lange Zeit fortsetzt und oft auch an den bereits verlegten Werkstücken noch andauert. — Die Formstücke werden nach der Herausnahme aus ihrer Form an luftigen Stellen mehrere Wochen zur Trock-

[1]) Als Rinnenbettung bezeichnet man die Gesamtheit der Verlegungsarten, bei denen die Kabel in offene Kästen von oben hineingelegt und dann, in der Regel mit demselben Material wie die Rinnen selbst, zugedeckt werden. Zum Teil sind die Rinnen nach Einlagerung der Kabel (oder auch nur blanker Drähte) noch ausgegossen worden (s. S. 132). Solche Rinnen werden jetzt aber nur noch sehr wenig verwendet, da die Kabel in ihnen noch unzugänglicher als lose verlegte Erdkabel sind. — [2]) Zu vgl. auch „Der Portlandzement und seine Anwendungen im Bauwesen“, Berlin 1892; ferner „Hütte“, des Ingenieurs Taschenbuch.

nung aufgestellt. Während dieser Zeit müssen sie regelmäßig mit Wasser besprengt werden, damit das Material gehörig abbindet. Der Fabrikationsprozeß ist erst als beendet anzusehen, wenn die Stücke beim Anschlagen einen hellklingenden Ton geben. Bei der R. T. V. gilt als Grundsatz, daß die Formstücke frühestens sechs Wochen nach ihrer Fertigstellung abgenommen werden dürfen. Im allgemeinen kann man aber annehmen, daß ein gut hergestelltes Zementformstück schon nach etwa vier Wochen verwendungsfähig ist.

Die chemischen Vorgänge beim Brennen, Abbinden und bei der Erhärtung des Portlandzements sind noch nicht völlig aufgeklärt, sie sind auch verschieden je nach den Beimengungen von Kieselsäure, Eisenoxyd, Alkalien usw. in den verwendeten Rohmaterialien. Rasch bindender Portlandzement wird nur bei Arbeiten unter Wasser gebraucht, in allen übrigen Fällen nimmt man langsam bindenden Zement, da dieser sich leichter und sicherer verarbeiten läßt und mehr Gewähr für größere Festigkeit bietet. Der Zement soll nach dem Abbinden keine oder nur geringe Mengen freier Kalkbasen enthalten, ein Zusatz von fremden Stoffen ist nicht gestattet. Gegen chemische Einflüsse ist der erhärtete Zement ziemlich widerstandsfähig, die in der Bodenfeuchtigkeit und in den Abwässern vorkommenden chemischen Verbindungen schaden ihm im allgemeinen nicht.

Versuche, an Stelle des Portlandzements den sogenannten Eisenzement, d. h. reinen Zement mit Zusatz von Hochofenschlacke, zu verwenden, sind noch nicht zum Abschluß gekommen. Dieses Material ist im allgemeinen billiger, doch ist es nicht ebenso zuverlässig wie der unvermischte Zement. Es wird noch zu erproben sein, ob die Festigkeit des Eisenzements für Zementkanäle, z. B. in Bürgersteigen, ausreichend ist.

Der Portlandzement wird in der Regel nicht in reinem Zustande, sondern meist mit Sand oder Kies vermengt verarbeitet. Ein Gemisch von 1 Teil Zement und bis zu 4 Teilen Sand, dem zuweilen noch etwas Kies zugesetzt wird, heißt Zementmörtel, mit Kies oder gröberen Steinen in demselben Verhältnis Zementbeton; dieser findet als sogenannter Stampfbeton für Wände oder Decken, an die hinsichtlich der Festigkeit besonders hohe Anforderungen gestellt werden müssen, Verwendung. Die als Beton bezeichnete Mischung muß zur Erzielung der höheren Festigkeit eine größere Dichte erhalten; man rechnet etwa 2200 kg für 1 cbm. Die Druckfestigkeit der fertigen Zementformstücke soll bei der R. T. V. für eine Mischung von Zementmörtel und Sand im Verhältnis von 1 : 2 bis 1 : 3 150 kg auf 1 qcm betragen. Dagegen ist die Festigkeit gegen Biegungsbeanspruchung, die infolge der auflagernden Belastung z. B. für die oberen Decken der Formstücke in der Hauptsache in Betracht kommt, wesentlich geringer und nur mit etwa 15 kg für 1 qcm anzusetzen.

Der zu den Zementformstücken verwendete Sand soll nach den Lieferungsvorschriften der R. T. V. „rein" sein, d. h. er darf keine organischen Beimengungen (pflanzliche Stoffe usw.) enthalten. Hinsichtlich der Menge des zugesetzten Sandes können nur Festigkeitsproben ein Urteil über die Beschaffenheit der Mischung geben. Eine chemische Untersuchung der fertigen Formstücke würde eine Entscheidung nicht darüber herbeiführen können, ob dem Zement z. B. das Zwei- oder Dreifache seines Gewichtes an Sand zuge-

setzt ist, sie wäre auch zwecklos, da nach den Vertragsbedingungen das Mischungsverhältnis ausdrücklich „nach der Güte des vorhandenen Sandes" bestimmt ist.

Zuweilen wird den Zementformstücken nach dem Monierverfahren noch dadurch eine höhere Festigkeit gegeben, daß in das Material ein Gitterwerk oder eiserne Stäbe eingelegt werden.

Das Gewicht der zur Ablieferung gestellten fertigen Zementplatten ist nach dem Durchschnittssatz von etwa 2000 kg für 1 cbm Masse zu berechnen.

Reiner Zement ist gegen Wasser undurchlässig, die Durchlässigkeit nimmt jedoch mit dem abnehmenden Gehalt einer Mischung an Zement zu. Die im Freien vorkommenden Temperaturunterschiede haben auf das Material keine Einwirkung, dagegen nimmt die Festigkeit bei hohen Wärmegraden — also z. B. bei Starkstromkurzschlüssen in nächster Nähe — bedeutend ab. Bei Frost sollen Zementarbeiten überhaupt nicht ausgeführt werden, da das bei der Verarbeitung erforderliche Wasser den porösen Zement durch Gefrieren auseinander treiben kann. Damit auf jeden Fall ein etwaiger schädlicher Einfluß des Zements auf den Bleimantel unbewehrter Kabel vermieden wird, sind die Rohrzüge der Zementformstücke gleichmäßig mit einem ausreichend festen und beständigen Austreichmittel zu überziehen, das möglichst keine freien organischen Säuren enthalten soll. Hierzu wird vielfach „black varnish" genommen, da dieser Teerlack ohne vorherige Erhitzung streichfertig ist und gut trocknet. Das Streichmittel soll nicht zu dick aufgetragen werden; eine besonders wichtige Forderung besteht noch darin, daß es bei der durch das Einziehen der Kabel entstehenden Reibungswärme nicht erweicht werden darf.

Die Prüfung[1]) des Zements ist sehr wichtig, sie erstreckt sich auf Ermittelung der Bindezeit, der Raumbeständigkeit und des Mischungsverhältnisses, sowie auf Festigkeitsproben.

Eiserne Vollrohre.

Aus solchen Rohren sind die ersten Kabelkanalanlagen bei verschiedenen fremden Telegraphenverwaltungen — z. B. namentlich in der Schweiz — und auch im Reichstelegraphengebiete hergestellt worden. Die älteste Anlage dieser Art wurde in Berlin im Jahre 1853 eingerichtet. Die Verlegung von Vollrohren bleibt jedoch jetzt auf besondere Ausnahmen beschränkt, wie bereits auf S. 151 begründet worden ist.

Bei der R. T. V. werden gußeiserne Muffenrohre von 15 bis zu 40 cm lichter Weite verwendet, sie sind von großer Dauerhaftigkeit und bieten große Sicherheit sowohl gegen Beschädigungen durch den Druck der Straßenfuhrwerke, als auch in solchen Fällen, wo sie auf längeren Strecken untergraben oder unterspült werden. Diese Kanäle sind bequem und schnell herzustellen und im Verhältnis zu ihrem Fassungsvermögen nicht zu teuer. Rohre von über 40 cm Durchmesser werden nicht verwendet, weil die Schwierigkeiten bei der Verlegung mit dem Durchmesser wachsen. Die Rohre entsprechen hinsichtlich ihrer Abmessungen und des Gewichtes den Normalien

[1]) Für Preußen gelten zurzeit die „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement" des Ministeriums der öffentl. Arbeiten vom 28. Juli 1887. Zu vgl. „Hütte", des Ingenieurs Taschenbuch, 19. Aufl., Teil I, S. 547.

des Vereins Deutscher Ingenieure. Die wasser- und gasdichte Verbindung der Rohre untereinander erfolgt in der Weise, daß der Zwischenraum zwischen Spitzende und Muffe mit Weißstrick gleichmäßig gefüllt und dann, nachdem am Muffenrande noch ein Tonwickel vorgelegt ist, mit Blei vergossen wird. Der Wickel wird nachher wieder abgenommen und das Blei am Muffenrande glatt verarbeitet.

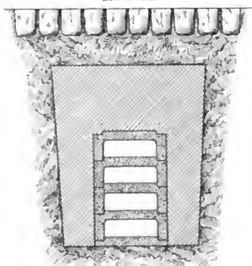
Bei der Zusammenfügung der Rohre ist darauf zu achten, daß das in die Muffe des nächsten Rohres hineinreichende Rohrspitzende möglichst genau in der Muffe selbst liegt, mit den Muffenrändern abschließt und nicht etwa schief in das Rohr hineinragt, da sonst die Kabel beim Einziehen beschädigt werden können. Wenn bei Straßenübergängen, Brücken usw. die Verlegung der starken Rohre auf Schwierigkeiten stößt, so kommen für solche Verbindungsstrecken — unter Zwischenschaltung von Kabelbrunnen — besondere Konstruktionen, z. B. rechteckige Kanalzüge aus Schmiedeeisen, zur Anwendung. Ganz besondere Aufmerksamkeit ist dem festen Wiederzustampfen der Baugrube zu widmen, namentlich muß die Unterbettung der schweren Eisenrohre fest und durchaus sicher sein, damit die Rohre sich nicht beim Nachsacken des Bodens senken und etwa unter ihnen liegende andere Anlagen beschädigen.

In der Praxis kann angenommen werden, daß ein Vollrohr durchschnittlich so viel Kabel aufnehmen kann, daß die Summe der Kabelquerschnitte etwa bis zu $^2/_3$ des Rohrquerschnittes ausmacht.

Kanäle aus Halbmuffen.

Kanäle für Lagerung mehrerer Kabel in derselben Öffnung in einer Lage sind in der Praxis in größerem Umfange nach dem Stuttgarter System[1]) gebaut worden; **Abb. 44** zeigt einen aus solchen Stücken zusammengesetzten Kanal. Die Platten haben eine Baulänge von 1 m und bestehen aus 1 Teil Portlandzement, 1 Teil Sand und 2 Teilen Kies. Die Stücke werden auf der Innenseite glatt gerieben und mit einem Lackanstrich[2]) versehen. Die Halbmuffen haben eine lichte Weite von 30 und 40 cm, die Deckenstärken betragen 5 cm für Fahrbahnen, sowie 4,5 cm (40 cm l. W.) und 3,5 cm (30 cm l. W.) für Bürgersteige.

Abb. 44.



Als Unterlage für das unterste Formstück eines Kanals dienen entweder eigens zu diesem Zweck geformte Betonplatten, oder es wird in der Kanalgrube eine Betonschicht von mehreren cm Stärke hergestellt. Auf diese Unterlage kommt die erste Schicht Muffen, darauf im Verbande mit gegenseitig versetzter Reihenlage die zweite Schicht und so fort, bis sämtliche Lagen aufgebaut sind. Die Stöße erhalten an den Seiten und in der obersten Lage eine Abdichtung von Zementmörtel, damit keine Feuchtig-

[1]) Näheres s. E.T.Z. 1895, Heft 23. — [2]) Wegen des inneren Anstrichs zu vgl. S. 154.

keit in das Innere der Kanäle dringen kann. Besonders gefährdete Kanäle werden nochmals mit Beton umkleidet; in Amerika wird grundsätzlich ein solcher Kanal vollständig mit Zement umgeben. Auf die obere Lage der schwächeren Muffen wird allerdings zur größeren Sicherheit in der Regel eine Zementdecke gebracht.

Der Bau dieser Kanäle bereitet bei Herstellung einer besonderen Betonsohle und bei Umkleidung mit Zement insofern Schwierigkeiten, als die Baugrube wegen des zunächst erforderlichen Abbindens des Zementmörtels nicht am selben Tage wieder zugeschüttet werden kann. Auch die Umgehung von Hindernissen ist nicht angängig.

Die Festigkeit der Halbmuffen wird hauptsächlich auf Biegung durch die auf der Deckplatte ruhende Last in Anspruch genommen.

Als höchster unter der Fahrbahn vorkommender Druck kann das Gewicht einer Dampfwalze, etwa 18000 kg, gelten. Da sich dieses Gewicht auf die drei Räder der Walze verteilt, so sind 6000 kg als Druck eines — 30 cm breiten — Rades in Rechnung zu ziehen. In Bürgersteigen ist der Druck bedeutend geringer, und auch in der Fahrbahn wird man nur in Ausnahmefällen mit einer solchen Belastung rechnen müssen. Nimmt man einen schwer beladenen Wagen oder eine dicht gedrängte Menschenansammlung als höchst vorkommende Belastung, so berechnet sich der Druck entsprechend auf etwa 1000 kg. Der Druck breitet sich bei gewöhnlicher Pflasterung mit einem Böschungswinkel von etwa 60° im Erdboden aus. Bei einer Tiefenlage der Oberkante von 60 cm und einer Werkstücklänge von 1 m verteilt sich nach **Abb. 45**[1]) der Raddruck der Dampfwalze von 6000 kg auf eine Fläche von 100 × 70 qcm, d. h. es entfallen auf 1 qcm 0,86 kg. Dazu kommen 0,09 kg Belastung durch das 60 cm hoch auflagernde Erdreich (spez. Gew. 1,5 gerechnet), so daß in der angegebenen Tiefe die Gesamtbelastung rund 1 kg für 1 qcm beträgt.

Abb. 45.

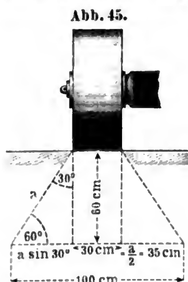
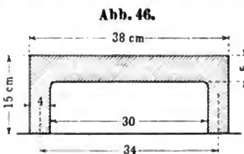


Abb. 46.



Die Muffe wird auf Biegung beansprucht, sie ist nach **Abb. 46** als ein auf zwei Stützen im Abstande von 34 cm frei aufliegender Träger mit gleichmäßig verteilter Belastung anzusehen. Die Last P beträgt bei der Tiefenlage von 60 cm 34 . 100 . 1 = 3400 kg. Das Biegungsmoment[2]) am gefährlichen Querschnitt in der Mitte ist für einen solchen Träger

$$\frac{P.l}{8} = \frac{3400 . 34}{8} = 14\,500 \text{ cmkg.}$$

---

[1]) $a = \frac{60}{\cos 30^\circ} = 70$. — [2]) Näheres über Festigkeit zu vgl. in der „Hütte".

Das Widerstandsmoment des rechteckigen Querschnittes ist

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{100 \cdot 5^2}{6} = 417 \text{ cm}^3.$$

Die Biegebeanspruchung beträgt also

$$K_b = \frac{14\,500}{417} = 34{,}7 \text{ kg für 1 qcm des Querschnittes.}$$

Hieraus ist zu folgern, daß diese Halbmuffen — mindestens 15 kg Festigkeit des Materials (S. 153) gerechnet — keine ausreichende Sicherheit gegen derartige Belastungen bieten [1]). Rechnet man aber unter sonst gleichen Voraussetzungen die oben angegebene und den tatsächlichen Verhältnissen besser entsprechende Höchstbelastung von ungefähr 1000 kg, so ergibt sich eine Belastung von etwa 0,23 kg [2]) für 1 qcm Oberfläche und eine Zugbeanspruchung von 8 kg, d. h. etwa doppelte Sicherheit. Bei Verlegung im Bürgersteige ist jedenfalls die Platte durchaus gesichert, in der Fahrbahn dagegen wird bei außergewöhnlich hoher, praktisch aber nur äußerst selten vorkommender Belastung die Festigkeit nicht ausreichen. Man wird also in derartigen Fällen von der Verwendung von Halbmuffen besser absehen oder aber dieselben nach Möglichkeit in dem benachbarten Bürgersteige verlegen. Die Festigkeit der Platten könnte jedoch um das Mehrfache erhöht werden, wenn nach der Monierbauweise auf ungefähr je 10 cm Abstand in die Deckplatten querliegende Eisenstäbe von etwa 8 mm Stärke, mit umgebogenen und in die Seitenwandungen hineinragenden Enden, eingelegt würden.

Gegenüber der Biegebeanspruchung ist die Druckfestigkeit der Halbmuffe völlig ausreichend. Die Muffe ruht auf zwei Seitenwänden von 4 cm Breite; die auf Druck beanspruchte Querschnittsfläche ist also 2 . 4 . 100 = 800 qcm. Die Höchstlast sei, wie oben berechnet, 3400 kg. Dann beträgt der durch diese Last ausgeübte Druck $\frac{3400}{800} = 4{,}25$ kg für 1 qcm. Da die Druckfestigkeit des Materials mit 150 kg garantiert wird, so ist die Sicherheit gegen Zerdrücken ungefähr 35 fach.

Die Knickfestigkeit der Muffenwände kommt wegen ihrer geringen Höhe nicht in Betracht.

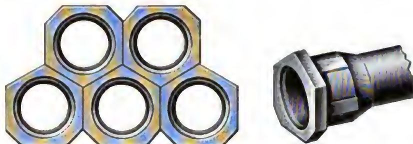
Kanäle aus eisernen Einzelrohren.

Eiserne Einzelrohre werden bei der R. T. V. weniger als zusammenhängende Kanäle, vielmehr im allgemeinen nur streckenweise als Ersatz für andere Kanalformen, namentlich für Zementplatten, verwendet, wenn die örtlichen Verhältnisse eine möglichst geringe Raumbeanspruchung oder beschleunigte Ausführung der Arbeit erfordern. Die Rohre werden für die R. T. V. in der Hauptsache nach dem System der Halbergerhütte bei Brebach (Saar) konstruiert und von diesem Werk auch geliefert. Diese Rohre waren nach **Abb. 47** zuerst mit kantigen Muffen versehen und hatten bei

[1]) Zu vgl. die späteren entsprechenden Berechnungen für Zementformstücke. Die erheblich größere Festigkeit der Zementformstücke gegenüber diesen Halbmuffen, trotz geringerer Deckenstärke (2,5 gegen 5 cm), liegt in der geringen freitragenden Länge der Decke (10 gegen 34 cm). — [2]) Es vermindert sich verhältnismäßig nur die äußere Belastung, der Erddruck (0,09 kg) bleibt natürlich derselbe.

einer Wandstärke von 7,5 mm eine lichte Weite von 72 mm. Das Bestreben, das Einzelrohrsystem immer mehr zu vervollkommnen, andererseits aber auch die Notwendigkeit, den Durchmesser der Rohre mit der Weite der Öffnungen der in der Hauptsache verwendeten Zementkanäle mehr in Übereinstimmung zu bringen, und endlich die Absicht, den Preis der Rohre durch Beschränkung der Wandstärke zu ermäßigen, führten zu verschiedenen Kon-

Abb. 47.

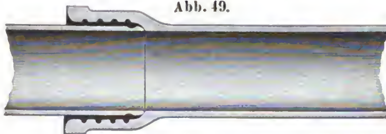


struktionsänderungen. Nach mehrfachen Versuchen wurde die in **Abb. 48** im Querschnitt dargestellte Form als die zweckmäßigste allgemein angenommen. Um das Zusammensetzen eines größeren Rohrbündels zu erleichtern, besitzt die Außenseite der Stoßmuffe zwölf stern- oder wellenförmige Ausbuchtungen, in welche die Wandflächen der daneben liegenden Rohre genau einpassen. Diese Form macht es möglich, die einzelnen Kanalrohre enger aneinander zu fügen und so nicht allein an Raum zu sparen, sondern auch dem Ganzen eine größere Festigkeit zu geben. Die innere Weite der Rohre beträgt in der jetzt üblichen Ausführung 9 oder 12 cm, die Wandstärke 6 oder 7 mm, das Gewicht 16 und 22 kg für 1 m; die Rohre werden in Baulängen von 3,5 m bis herunter zu 1,5 m geliefert. Bei der Verlegung werden die Rohre zur größeren Festigkeit des Kanals gegenseitig versetzt angeordnet. Am Anfange des Kanals erhalten infolgedessen die ersten Rohre ungleiche Längen.

Abb. 48.



Abb. 49.



Die Dichtung der einzelnen Rohre geschieht in einfacher Weise durch Gummiringe. Zum Festhalten dieser Ringe sind nach **Abb. 49** die Innenfläche des Muffenendes mit Rillen, das Spitzende mit einer eingedrehten Vertiefung versehen. Bei der Verlegung wird auf das Spitzende des zweiten Rohres ein Gummiring geschoben und das Ende in die Muffe des ersten Rohres eingefügt.

Eine besondere Unterbettung ist für Eisenrohre nicht erforderlich. Zur Erzielung ausreichender Festigkeit werden die sämtlichen Lagen eines Kanals in Abständen von etwa 1 m mit Schlingen aus 4 mm starkem verzinkten Eisendraht in mehrfachen Windungen miteinander verbunden. Der Zwischenraum zwischen den einzelnen Lagen und Rohren wird mit steinfreier Erde ausgefüllt und mittels Holzspatels sorgfältig festgestampft. Besonders ist auch wie bei Vollrohren auf feste Unterstopfung zu achten, damit der Kanal nicht sackt.

Die großen Vorzüge dieses Kanalsystems sind folgende:

1. Die Verlegung geht rasch vonstatten.
2. Der Raumbedarf ist verhältnismäßig gering.
3. Kleinere Abweichungen von der Geraden, auch in der Höhenlage, sind durch die schmiegsame Gummiringdichtung so weit möglich, daß in beschränktem Umfange auch Hindernisse umgangen werden können.
4. Die Rohre sind nach ihrer Wiederaufnahme ohne weiteres wieder verwendbar.
5. Der ganze Kanal erhält durch die große Länge der einzelnen Rohre, die versetzte Anordnung der Muffen und durch die Drahtschlingen eine erhebliche Festigkeit.

Die ausschließliche Einführung des an sich ausgezeichneten Halberger Systems machen seine hohen Kosten unmöglich[1]). Trotzdem wird in besonderen Fällen die Verwendung dieser Eisenkonstruktionen nicht entbehrt werden können.

Bei Straßenübergängen oder sonst gefährdeten Stellen werden bei der R. T. V. für kurze Strecken an Stelle der gußeisernen 90 mm-Rohre solche aus Siemens-Martinstahl von 95 mm äußerem Durchmesser und $3^1/_4$ mm Wandstärke, je nach Bedarf von verschiedener Baulänge, auch wohl von noch größerem Durchmesser, verwendet. Diese Rohre haben an einem Ende eine Aufweitung, in die das andere Ende des folgenden Rohres fest eingeschoben wird.

Bei den Eisenrohren tritt in der Praxis noch eine wohl zu berücksichtigende Erscheinung auf. Wenn die Rohre nicht genau ineinander passend verlegt werden oder ein Sacken des Kanals eintritt, so werden die Spitzenden der nicht vollständig starr miteinander verbundenen Rohre unter Umständen unter einem Winkel zur Richtungslinie in das Muffenteil der anschließenden Rohre hineinragen. Es werden dann später beim Einziehen der unbewehrten Kabel leicht Beschädigungen der Bleimäntel entstehen können, wenn gegen die Spitzenden der Rohre eingezogen wird. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, bei Anlegung solcher Rohrstränge schon auf die spätere Aufstellung der Kabeltrommeln und Winden Rücksicht zu nehmen (s. S. 223). Dem erwähnten Übelstande wird z. B. in England durch eine geringe Aufbördelung des Spitzendes abzuhelfen versucht.

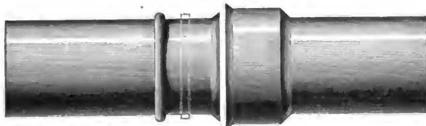
Neu ist ein Verfahren von Ludwig Labischin in Lichtenberg bei Berlin, das dieser Schwierigkeit durch eine andere, patentierte Form der Eisenrohre, welche in **Abb. 50** dargestellt ist, begegnen soll. Das eine Ende dieser Rohre ist erhöht aufgemufft und am Stoßende etwas erweitert, das

[1]) Zu vgl. die Zusammenstellungen bei Besprechung der Zementplatten, S. 170 u. 171.

andere Ende ist mit einer eingewalzten Rundwulst versehen und am Stoßende aufgebördelt. Beim Zusammenfügen der Rohre greift der gebördelte Rand in die muffenartige Erweiterung, und letztere findet an der Wulst mit einem übergestreiften Gummiring eine gut dichtende Stoßgrenze. Diese Kanäle versprechen einen großen Vorteil, da sich im Innern der Rohre an den Stoßstellen, selbst wenn die Verlegung der Rohre nicht in gerader Richtung erfolgt, niemals vorstehende Ränder bilden, an denen die Kabel beim Einziehen beschädigt werden können, so daß sich der etwas höhere Preis jedenfalls bezahlt machen wird. Solche Rohre sind bereits mit gutem Erfolge verlegt worden.

Eine besondere Art eiserner Kabelrohre (Kustermannsche Kabelschutzeisen) wird in großem Umfange in Bayern verwendet. Diese Rohre

Abb. 50.



bestehen aus zwei Teilen, die mit Klemme und Keil zusammengehalten werden, wie aus **Abb. 51** zu ersehen ist. Sie werden sowohl zur Bedeckung von Erdkabeln, als auch zu Kabelkanälen für Einzellagerung benutzt und in vier ver-

Abb. 51.

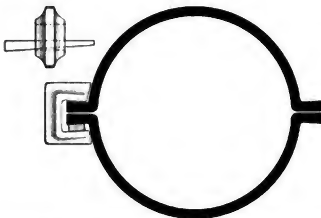
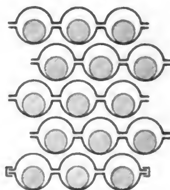


Abb. 52.



schiedenen Größen verwendet. Die Verbindung der einzelnen Längen erfolgt durch Laschen. Das System ist noch weiter ausgebildet worden, indem nach Bedarf mehrere solche Halbrohre zu einem starren Ganzen zusammengefaßt und so gleichzeitig für eine ganze Lage Rohre, gewissermaßen als zweiteilige Blöcke aus Eisen, verlegt werden; **Abb. 52** zeigt einen solchen Kanal aus 15 Kabelzügen. Diese Art des Kanalbaues soll sich in Bayern gut bewährt haben.

Das festeste und dauerhafteste Material für Kanäle sind aber wohl eiserne Rohre, die bei der Verlegung ganz in Zement eingebettet werden[1]. Dieses Verfahren ist in der Hauptsache in Amerika angewendet, dann aber wegen der außerordentlich kostspieligen Herstellung doch wieder fast vollständig aufgegeben worden. Vielfach wird aber dort und auch in England

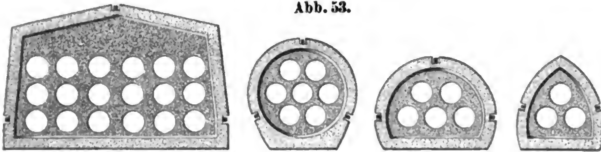
[1] Kempster B. Miller, S. 842; Abbott, Part. II, S. 16.

noch von Eisenblechrohren mit Zementfutter Gebrauch gemacht, die bedeutend billiger sind, aber doch recht widerstandsfähig sein und namentlich vor elektrolytischen Gefährdungen guten Schutz gewähren sollen.

Kanäle aus Zementblöcken.

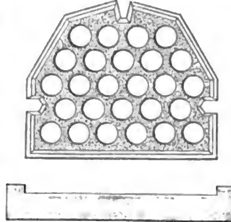
Diese Kanäle werden nach dem System des schwedischen Ingenieurs Hultmann gebaut und haben sich mit gutem Erfolge eingeführt; auch die Starkstromtechnik hat vielfach von ihnen Gebrauch gemacht. Es ist ein Mehrlochsystem mit Einzellagerung für jedes Kabel.

Abb. 53.



Die einzelnen Blöcke sind 1 m lang, sie haben Öffnungen von 75 mm l. W. und sind oben und an den Seiten mit Längsrinnen versehen, in die nach der Verlegung Eisenstäbe gelegt und dann mit Zement vergossen werden, um die gegenseitige Lage der Blöcke zu sichern. Diese Rinnen dienen außerdem bei den größeren, schweren Stücken zum Anlegen der Hebevorrichtungen, um die Blöcke in das Kanalbett zu befördern. **Abb. 53** zeigt einige Formen solcher Werkstücke. Bei der R. T. V. sind Formstücke mit mehr als sieben Öffnungen nicht zur Verwendung gelangt, dagegen werden z. B. in Österreich und Schweden Blöcke mit einer größeren Zahl von Einzelöffnungen, bis über 50, verlegt, und zwar im allgemeinen in der eckigen Form, wogegen in Deutschland die runde Form bevorzugt worden ist. Der innere Kernteil der Stücke ist in der Längsrichtung gegen den äußeren Mantelteil um 5 cm versetzt, um ein leichtes Aneinanderfügen zu ermöglichen. Bei Verlegung der Formstücke wird im Auslande meistens von besonderen Unterlegeplatten Gebrauch gemacht, auf denen die Blöcke mit ihren beiden Enden ruhen, wie aus **Abb. 54** zu ersehen ist. Kanäle aus derartigen Formstücken können ihrer Konstruktion nach nur in einer Lage in den Erdboden eingebaut werden. Die Muffen- und Spitzenden der beiden aneinander stoßenden Stücke werden nach Umwindung des Spitzendes mit Hanfstrick derart ineinander geschoben, daß zwischen Stoß und Muffe noch ein Zwischenraum von 1 cm bleibt. Nach Auflegung der Eisenstäbe werden die Rinnen mit Zement verstrichen. Schließlich werden noch die Stoßfugen zwischen den Formstücken mit einer heißen Mischung aus Teer und Asphalt gedichtet. Beim Verlegen eines solchen Kanals ist besonders sorgfältig auf das genaue Aneinanderpassen der Stücke zu achten.

Abb. 54.



Der Fortschritt gegen die Zementhalbmuffen besteht nicht nur in der Einzellagerung der Kabel, sondern auch in der schnelleren Herstellung des Kanals, da die fertiggestellte Strecke sofort wieder zugeworfen werden kann. Der Vorteil dieser Zementblöcke liegt zunächst in ihrer Form, da bei späteren Grabarbeiten eine Beschädigung der verlegten Stücke durch Pickenhiebe usw. nur schwer eintreten kann. Die Formstücke haben fernerhin durch die Art des Zusammenbaues eine große Tragfähigkeit und können sich selbst bei Unterspülungen auf längeren Strecken frei tragen. Beschwerlich sind allerdings bei der Verlegung das große Gewicht und die wenig handliche Form. Diese beiden ungünstigen Eigenschaften würden bei Vergrößerung der Einzelöffnungen auf 9 oder 10 cm noch stärker in Erscheinung treten. Die Erweiterung eines vorhandenen Kanals kann nur in der Horizontalebene durch Nebeneinanderlagerung erfolgen, wozu aber unverhältnismäßig viel Raum erforderlich wird. Hindernisse lassen sich mit den Blöcken nicht umgehen, die Anpassungsfähigkeit an die gegebenen örtlichen Verhältnisse ist also nur gering. Andererseits ist jedoch für dieselbe Kabelzahl die Raumbeanspruchung gegenüber den hiernach zu besprechenden Zementplatten um rund 20 v. H. geringer. Allerdings haben die Blöcke nur Öffnungen von 75 mm, in Österreich teilweise auch von 80 mm l. W. Es tritt also gegenüber den Zementplatten mit 10 cm-Öffnungen wieder insofern ein Nachteil ein, als diese Formstücke Kabel von erheblich höherer Adernzahl aufzunehmen vermögen. Im ganzen ist für den gleichen Kanalquerschnitt bei voller Ausnutzung der Hohlräume die Aufnahmefähigkeit der Hultmannschen Zementblöcke eine geringere als die eines Plattenkanals mit gleicher Lochzahl. Das Blocksystem hat sich jedoch im allgemeinen gut bewährt und große Verbreitung gefunden.

Kanäle aus Zementplatten.

Eine andere Form des Blocksystems mit Einzelrohrzügen stellt das vom Oberpostrat Zappe in Berlin angegebene System der Zementplatten dar, das wegen seiner außerordentlichen Vorzüge fast ausschließlich bei der R. T. V. benutzt wird. Dieses System wird auch bei auswärtigen Verwaltungen und Gesellschaften und auch für Starkstromkabel vielfach verwendet. Die Platten vermeiden die den Stuttgarter und schwedischen Systemen anhaftenden Mängel und entsprechen in weitgehendem Maße den Anforderungen an Festigkeit, Beweglichkeit und Anpassungsvermögen an die jeweiligen örtlichen Verhältnisse.

Das Plattensystem besteht, wie das schwedische, aus Zementblöcken mit Einzelrohren, die Anordnung ist aber so getroffen, daß sich in einem prismatischen Block immer nur eine einzige Reihe von Kabelrohren befindet. Die Formstücke werden für Öffnungen von 10 und 12 cm l. W. angefertigt. Für beide Typen sind Platten mit 2, 3 und 4 Öffnungen für Hauptkanäle[1]) in Anwendung, und zwar sowohl mit gewöhnlicher Deckenstärke, als auch mit gewölbter Decke. Die Stegbreite zwischen den Einzelöffnungen beträgt 16 mm, bei den 12 cm-Öffnungen neuerdings 17 mm, die Stärke der Außenwandungen ist mit 25 bzw. 26 mm, die Höhe der besonderen Deckenverstärkung allgemein mit 30 mm bemessen worden. Für geeignete Fälle werden außer-

[1]) Wegen der Begriffe Haupt- und Verteilungskanäle sind die Ausführungen auf S. 166 u. 167 zu vergleichen; zu vgl. Abb. 55 auf S. 164.

dem noch Platten mit verstärkten Muffenenden geliefert. Die Baulänge der Zementformstücke beträgt 1 m. Die Rohröffnungen sind zum leichteren Einziehen der Kabel an den Stoßenden trichterförmig etwas erweitert. Zur Herstellung der Stoßverbindung erhält jedes Formstück an dem einen Ende einen 10 mm breiten Falz, an dem anderen Ende eine dementsprechende muffenartige Aussparung, so daß die Stücke fest anschließend ineinander geschoben werden können. Die Formstücke mit gewölbter Decke sind für Hauptkanäle im Straßendamm, bei solchen aus mehreren Lagen in der obersten Schicht zu verwenden. Es können jedoch auch im Straßendamm durchweg Formstücke mit gerader Decke Verwendung finden, wenn die Kanäle genügend tief liegen; hierbei ist aber vorausgesetzt, daß nicht später durch Änderungen an der Straßenoberfläche eine gefährliche Tiefenlage entsteht. Zum Anschluß an die Kabelbrunnen werden neuerdings auch Platten von 0,5 m Länge beschafft, um unnötigen Abfall zu vermeiden. An den Stirnwänden sämtlicher Stücke sind je zwei kreisrunde Löcher zur Aufnahme eiserner Dorne von 10 mm Stärke angebracht (s. Abb. 56).

Die Festigkeit dieser Zementplatten (Abb. 55) wird in ähnlicher Weise berechnet, wie es vorher (S. 156) für die Zementhalbmuffen geschehen ist. Als Höchstlast seien wieder 6000 kg, d. h. 1 kg auf 1 qcm bei 60 cm Tiefe, angenommen. Auf Biegung wird beansprucht der über einer Öffnung befindliche Teil der Decke. Die Belastung beträgt hierfür bei Platten mit 10 cm-Öffnung 10 . 100 . 1 = 1000 kg. Eine solche Teilfläche ist allerdings in diesem Falle nicht als frei aufliegender, sondern als beiderseitig eingespannter Träger — wieder mit gleichmäßig verteilter Belastung — zu betrachten, dessen Biegungsmoment am gefährlichen Querschnitte sich mit

$$\frac{P \cdot l}{12} = \frac{1000 \cdot 10}{12} = 835 \text{ cm kg}$$

berechnet. Das Widerstandsmoment beträgt (bei 2,5 cm Deckenstärke)

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{100 \cdot 2{,}5^2}{6} = 104 \text{ cm}^3,$$

mithin ist die Biegebeanspruchung

$$K_b = \frac{835}{104} = 8 \text{ kg für 1 qcm},$$

es ist also, die Festigkeit mit 15 kg angenommen, selbst bei höchster Belastung noch ungefähr doppelte Sicherheit vorhanden.

Bei Platten mit verstärkter Decke (5,5 statt 2,5 cm) ist das Widerstandsmoment erheblich höher und beträgt 505 cm³ und danach die Biegebeanspruchung nur 1,65 kg für 1 qcm des Querschnitts; es ist also neunfache Sicherheit erreicht.

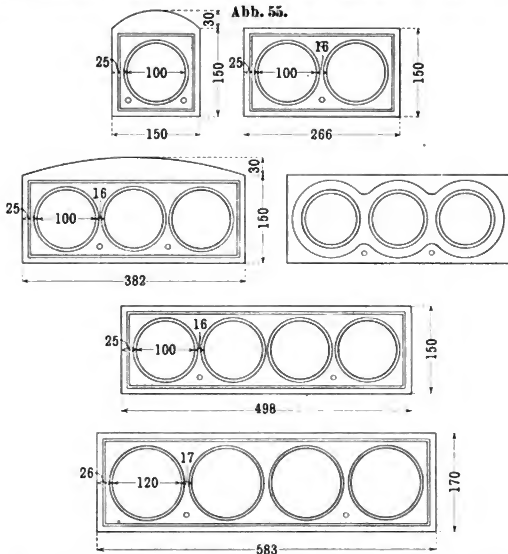
Die auf einem Steg ruhende Last beläuft sich auf 11,6 . 100 . 1 = 1160 kg (11,6 cm ist der Abstand zwischen den Mittelpunkten zweier benachbarter Rohrkreise von 10 cm Durchmesser). Die Stegfläche ist 1,6 . 100 = 160 qcm, die Druckbeanspruchung mithin

$$K = \frac{P}{F} = \frac{1160}{160} = 7{,}25 \text{ kg für 1 qcm}.$$

Da die Druckfestigkeit des Materials 150 kg betragen soll, so ist rund 21 fache Sicherheit gegen Zerdrücken vorhanden.

Hieraus nun zu folgern, daß die Stegbreite vielleicht ermäßigt werden könnte, würde jedoch nicht zulässig sein. Die Stegwände werden beim Einziehen der Kabel unter Umständen beträchtlich in Anspruch genommen, auch läßt sich die Fabrikation mit dünneren Stegen nicht mehr sicher ausführen. Es wird also die durch die praktische Erfahrung als erforderlich und ausreichend bemessene Stärke von 16 oder 17 mm beizubehalten sein.

Abb. 55.

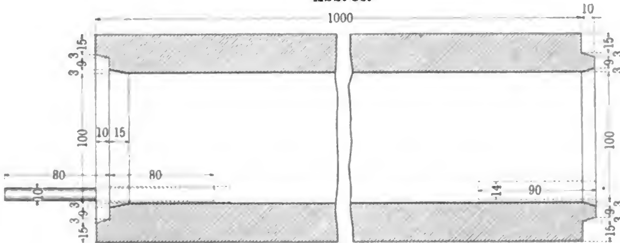


Für Verteilungskanäle werden besondere 1- und 2-Loch-Platten mit verstärkter Decke hergestellt. Sie entsprechen in ihrer Bauart den übrigen 10 cm-Platten, jedoch mit der Abweichung, daß infolge ihrer geringeren Tiefenlage zur Erhöhung der Festigkeit gegen Druck nach der Monierbauweise in der Längsrichtung der Formstücke zwei oder drei Rundeisenstäbe eingelegt werden. Die beiden äußeren Eisenstäbe stehen an dem Spitzende des Formstückes um 9 cm aus dem Körper heraus und endigen an der anderen Seite etwa 10 cm von der Stirnwand in einem rechtwinklig nach oben gebogenen Haken. An dieser Seite sind in der Stirnwand des Formstückes in der Verlängerung der Eisenstäbe entsprechende zylindrische Vertiefungen vorhanden, in welche die vorstehenden Stabenden des anschließenden Formstückes hineinpassen. Durch diese Eisenverstärkung erhalten die Form-

stücke eine erhöhte Biegungsfestigkeit, die nach den statischen Berechnungen genügt, um selbst bei der vorgeschriebenen Mindestauffüllung von 32 cm eine Belastung von 4000 kg auszuhalten. Verteilungskanalplatten sind daher im allgemeinen auch in der geringen Tiefenlage der Unterkante von 50 cm [1]) zur Überschreitung von Straßendämmen ohne Gefahr zu verwenden.

In **Abb. 55** sind einige Zementplatten (einschließlich einer solchen mit verstärktem Muffenende) dargestellt. **Abb. 56** zeigt den Längsschnitt durch einen Kanalzug mit 10 cm-Öffnung. Zur Instandsetzung beschädigter, mit Kabel besetzter Zementkanäle können schließlich auch noch zweiteilige, aus Ober- und Unterteil bestehende Formstücke verwendet werden. In sämtliche Formstücke wird bei ihrer Herstellung das betreffende Datum eingepreßt, damit das Lieferungsalter später festgestellt werden kann. Die einzelnen Rohre

Abb. 56.



werden sofort nach der Anfertigung der Platten mit einer Lösung reinen Zements bestrichen, um eine vollständig glatte Innenfläche zu erzielen. Außerdem sollen die Rohre später nach dem Abbinden der Platten einen dünnen Lackanstrich (s. S. 154) erhalten, der den Zement überall deckt.

Aus der nachstehenden Zusammenstellung sind Breite, Gewicht und Raumverdrängung der zurzeit bei der R. T. V. gebräuchlichen Zementplatten zu ersehen. Die Höhe beträgt für die Platten mit 10- und 12 cm-Öffnungen allgemein 150 und 170 mm, bei gewölbter Decke noch 30 mm mehr.

Platten mit 10 cm-Öffnungen und 16 mm Stegbreite	Breite in mm	Gewicht [2]) in kg	Raumverdrängung in cbm	Platten mit 12 cm-Öffnungen und 17 mm Stegbreite	Breite in mm	Gewicht in kg	Raumverdrängung in cbm
1 Loch gewölbt .	150	35	0,026	3 Loch flach . .	446	84	0,075
2 „ flach . . .	266	49	0,040	3 „ gewölbt .	446	93	0,084
2 „ gewölbt .	266	56	0,045	4 „ flach . .	583	107	0,099
3 „ flach . . .	382	68	0,057	4 „ gewölbt .	583	130	0,110
3 „ gewölbt .	382	82	0,065				
4 „ flach . . .	498	86	0,075				
4 „ gewölbt .	498	108	0,085				

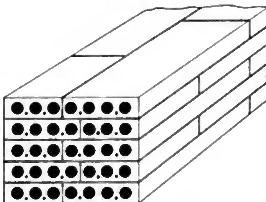
[1]) Höhe des verstärkten Formstücks 18 cm, Aufschüttung 32 cm. — [2]) Das Gewicht ist nach Durchschnittswerten (nach S. 154 rd. 2000 kg für 1 cbm) angegeben.

Die Hauptkanäle werden in jeder Stärke hergestellt, während Verteilungskanäle höchstens zwei Rohre erhalten. Die ersteren sind nur für Hauptkabel[1]), letztere ausschließlich für die Verteilungskabel bestimmt. Hauptkanäle zu vier Öffnungen sollen in der Regel nicht aus einer einzigen Platte, sondern zur größeren Festigkeit aus zwei übereinander liegenden 2-Loch-Formstücken gebaut werden. Hauptkanäle mit drei Öffnungen werden nur noch in Ausnahmefällen verlegt, solche mit zwei Öffnungen sind nur als kurze Anschlußstrecken zugelassen, damit nicht nach Anlage des ersten Kanals sehr bald schon wieder Aufgrabungen und Erweiterungen notwendig werden.

Die Breite und Tiefe des bei Herstellung von Zementkanälen auszuwerfenden Grabens richten sich nach der Art und Zahl der zu verlegenden Formstücke, nach den örtlichen Verhältnissen und den etwa getroffenen besonderen Vereinbarungen. Erwünscht ist jedenfalls die Herstellung in Bürgersteigen, zum mindestens für Verteilungskanäle. Bei der Ausführung in Straßendämmen soll die Oberfläche der Formstücke wenigstens 60 cm unter der Fahrbahn liegen, oder es sind besondere, der Örtlichkeit angepaßte Schutzvorkehrungen zu treffen.

Die Verlegung der Formstücke erfolgt, wie beim schwedischen System, ohne besondere Unterbettung unmittelbar auf der Sohle des Baugrabens. Nur die Stoßenden erhalten eine starke, breite Unterlage von Zementmörtel aus 1 Teil reinem Zement und 6 Teilen Sand. Beim Zusammensetzen der einzelnen Schichten werden in die Löcher an den Stirnwänden der Stücke eiserne Dorne (S. 163) sorgfältig mit feinem Zementmörtel (Mischung 1 : 1) eingefügt. Dieses ist namentlich bei Kanälen aus nur einer Lage Platten wichtig, weil davon die Festigkeit des Kanals an den Stößen wesentlich abhängt. Die Stöße der Platten werden nach guter Einpassung sauber mit feinem Mörtel verstrichen, besonders ausgiebig, wenn der Kanal infolge von Hindernissen unter Umständen eine leichte Biegung nehmen muß. Die folgenden Lagen werden wie gewöhnliches Mauerwerk im Verband, aber ebenfalls unter Verwendung von Dornen und ausreichender Dichtung der Fugen, mit gewöhnlichem Zementmörtel (1:6) aufgemauert, so daß die Stoßfugen in den einzelnen Lagen nicht übereinander liegen. Der Mörtel zur Dichtung der Stoßfugen soll nur wenig feucht sein, weil er sonst in das Innere eindringt und dort dann ein gefährliches Hindernis für die einzuziehenden blanken Bleikabel bilden kann. Werden Platten verschiedener Größe verwendet, so ist mit ihrer Lage in den einzelnen Schichten abzuwechseln, um eine größere Festigkeit des ganzen Kanalgefüges zu erzielen. **Abb. 57** zeigt schematisch einen solchen Aufbau. In **Abb. 58** ist die Ansicht eines im Bau begriffenen Kanals dargestellt.

Abb. 57.



[1]) Zu vgl. die betreffenden Ausführungen im Abschnitt IV über die unterirdische Verteilung der Anschlußleitungen.

Die Verteilungskanäle sollen in der Regel, wie auch die Abb. 58 zeigt, unmittelbar auf die Hauptkanäle gelegt und möglichst gleichzeitig mit diesen eingebaut werden, um doppelte Grab- und Pflasterarbeiten zu vermeiden. Nur wenn Hauptkanäle in den betreffenden Straßen nicht verlegt werden oder etwa im Straßendamm liegen müssen, sind die Verteilungskanäle zur Ersparung von Kabelkosten und zum besseren Einbau der Abzweigkästen (Abb. 74) getrennt von diesen im Bürgersteige, der für diese kleineren Kanäle in der Regel Platz haben wird, anzulegen.

Der Aufbau eines Zementplattenkanals vollzieht sich im allgemeinen recht schnell, ist aber im einzelnen von seinem Umfange, den besonderen

Abb. 58.



örtlichen Verhältnissen und den vorhandenen Hindernissen abhängig; die fertiggestellte Strecke kann sofort wieder zugeworfen werden.

Um den Wasserabfluß in den Kanalrohren zu ermöglichen, ist darauf zu achten, daß sich zwei Kanalstrecken immer etwas nach dem dazwischen liegenden Brunnen senken. Nicht zu entfernende kleinere Hindernisse, wie einzelne Rohre usw., können ohne Schwierigkeit umgangen werden, indem entweder zwischen zwei Plattenlagen eine entsprechend hohe Schicht Sand eingestampft oder aber die beiden Lagen unter sanftem Ansteigen in Form eines gespannten Bogens ober- und unterhalb des Hindernisses, dasselbe zwischen sich lassend, geführt werden. Die übliche Abdichtung der Stoßenden ist zuweilen bei stark auftretendem Grundwasser, besonders bei großer Tiefenlage der Kanäle, nicht ausreichend. In solchen Fällen kann entweder die ganze Baugrube eine zusammenhängende Betonsohle mit Glatt-

strich erhalten, oder es können wenigstens unterhalb der Stoßstellen 10 cm starke Zementklötze gelegt werden. In beiden Fällen wird die Unterlage etwa 10 cm nach beiden Seiten über die Kanalbreite hinausragen müssen. Im feuchten Erdreich sollen allgemein auch die Seitenfugen mit Zement verstrichen werden, bei besonderer Grundwassergefahr sind auch wohl an den Stoßstellen dicke Zementwülste um den ganzen Kanal zweckmäßig, in die zur Erzielung einer größeren Festigkeit des Kanals noch Drahtnetze eingelegt werden können.

Die Zementplattenkanäle haben im allgemeinen eine ausreichende Festigkeit, um sich bei etwaigen Aufgrabungen oder Unterspülungen auch auf einer Länge von mehreren Formstücken ohne Bruch zu tragen, allerdings sind ihnen in dieser Beziehung die Zementblöcke nach dem Hultmannschen System infolge deren Eisenstabeinlagen überlegen.

Die Vorteile des Plattensystems gegenüber dem Blocksystem sind mehrfach. Es ist zunächst bedeutend erweiterungsfähiger, es ist auch erheblich beweglicher, da es sich durch Zusammendrängung oder Teilung der Gesamtzahl der Platten, durch Verwendung verschiedenartiger Platten und durch Wechsel im Aufbau in Hochkant- oder Breitstellung den örtlichen Verhältnissen viel leichter anpassen kann und auch Hindernisse bequemer umgehen läßt, ohne dabei im ganzen mehr an Raum zu beanspruchen. Mit den Zementplatten sind auch kleinere Abweichungen von der Geraden leicht auszuführen, ohne daß hinsichtlich der Festigkeit des ganzen Gefüges Bedenken bestehen. Allerdings muß hierbei die Einschränkung gemacht werden, daß bei sehr starken Kabeln oder bei solchen, deren Durchmesser gerade nur noch das Einziehen in die Rohre gestattet, jedes Abweichen von der Geraden vermieden werden muß. Ein Nachteil gegen das Blocksystem besteht in der Möglichkeit leichterer Beschädigung der Platten bei Grabarbeiten, doch fällt dieser Umstand nicht wesentlich ins Gewicht. Die Erweiterung bestehender Kanäle ist selbst dann angängig, wenn in der Richtung nach oben oder an den Seiten eine weitere Raumausnutzung nicht angängig ist. In solchen Fällen kann man den Kanal ohne Gefahr streckenweise untergraben und dann neue Platten unterhalb der vorhandenen einlegen. In gewissen Fällen kann sogar das Aufhängen ganzer Kanäle und Brunnen in Ketten, die an kräftigen Holzbalken über der Kanalgrube befestigt werden, zweckmäßig sein, z. B. bei umfangreichen Kanalisationsarbeiten, Untergrundbahnbauten usw.

Die Formstücke nach dem Plattensystem genügen also in Beziehung auf Handlichkeit und Beweglichkeit selbst hohen Anforderungen. Eine schwache Seite dieses Systems bleibt aber noch die Verbindung der einzelnen Formstücke an den Stößen. Die Berührungsfläche der Plattenenden an den Stirnseiten ist nur klein, dagegen die Haltefähigkeit der Dorne, wenn sie nicht ganz besonders sorgfältig eingesetzt sind (S. 166), nicht erheblich, so daß Untergrabungen auf längeren Strecken bei Plattenkanälen aus nur einer Lage bedenklich sind. Bei Kanälen aus mehreren Lagen Platten macht sich dagegen die unzureichende Stoßverbindung wenig oder gar nicht geltend, weil dann die einzelnen Plattenlagen sich infolge der Aufmauerung im Verbande und ihrer Verbindung mit Zement gegenseitig stützen.

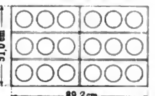
Die Platten mit 12 cm Lochweite sind erst in neuester Zeit aus Anlaß der Verwendung 500 paariger Kabel mit 0,8 mm starken Adern eingeführt

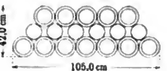
Abb. 59. Querschnitte von Kanälen[1])

mit 12 cm-Öffnungen — Zementformstücke, Halberger Rohre

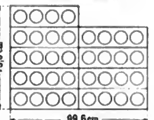
mit 10 cm-Öffnungen — Zementformstücke, Halberger Rohre

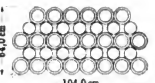
18 Öffng.



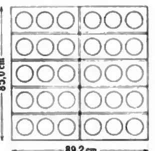


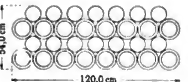
36 Öffng.



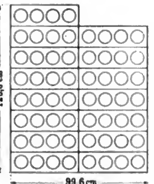


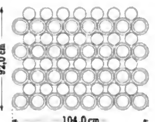
30 Öffng.



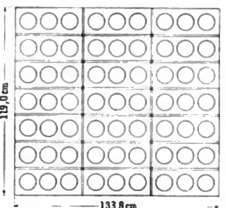


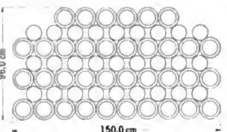
60 Öffng.



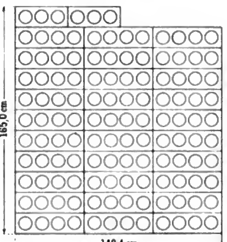


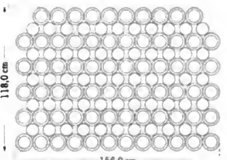
63 Öffng.





126 Öffng.





[1]) Die Querschnitte der Kanäle sind ohne die beim Aufbau entstehenden geringen Zement- und Sandzwischenlagen berechnet; zu vergleichen hinsichtlich der Zementplatten die Zusammenstellung auf S. 165.

worden, da solche Kabel sich wegen ihres größeren Durchmessers in die 10 cm-Platten nicht mehr einziehen ließen. Die Normaltype für die engeren Löcher ist das 250paarige Kabel, doch lassen sich nötigenfalls auch noch 350paarige Kabel mit 0,8 mm-Leitern in 10 cm-Rohre einziehen.

In **Abb. 59** ist ein Vergleich über den Rauminhalt von Formstücken mit 12 cm- und 10 cm-Löchern für die gleiche Gesamtaufnahmefähigkeit gegeben (Kabel zu 500 und 250 Adernpaaren vorausgesetzt), außerdem ist vergleichsweise der entsprechende Bedarf an Eisenrohren bei ihrer günstigsten Anordnung zu ersehen. Der Umfang der Kanalquerschnitte und der nur für das Material für 1 m aufzuwendenden Kosten ergibt sich aus der nachfolgenden Zusammenstellung:

Zahl der Doppeladern	Kabel zu		Raumquerschnitt in qm				Materialkosten für 1 m in Mark			
	500 Doppeladern	250 Doppeladern	Zementformstücke		Eiserne Rohre		Zementformstücke		Eiserne Rohre	
			3 Loch 12 cm	4 Loch 10 cm	12 cm	9 cm	3 Loch 12 cm	4 Loch 10 cm	12 cm	9 cm
9 000	18	36	0,45	0,75	0,44	0,67	18	26	50	82
15 000	30	60	0,75	1,20	0,65	0,96	30	73	83	130
31 500	63	126	1,59	2,46	1,44	1,84	63	91	175	286

Für 12 cm-Kanäle sind bei diesem Vergleich 3-Loch-Platten gewählt, da die entsprechenden Platten mit vier Kanalzügen unhandlicher und teurer beim Verlegen sind. Der Raumbedarf würde bei diesen Platten allerdings etwas geringer sein.

Es findet also in allen Fällen, zunehmend mit der Stärke der Kanäle, bei Verwendung von 12 cm-Öffnungen eine erhebliche Raumersparnis statt, wodurch wieder die Kosten für Erd- und Pflasterarbeiten und für Bodenabfuhr vermindert werden können. Es ist aber auch der ganz bedeutende Unterschied der Materialkosten für Zement- und Eisenrohre zu ersehen. Hieraus erklärt sich in erster Linie der fast vollständige Übergang von dem zuerst gebräuchlichen System der eisernen Einzelrohre zum Zementplattensystem, und es ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Verwendung von Eisenrohren nur noch unter besonderen Verhältnissen gerechtfertigt ist (zu vgl. S. 171).

Die 12 cm-Kanäle werden in erster Linie vorteilhaft sein in der Nähe der großen Ämter, ferner auf solchen Strecken, auf denen mehrere Kabel mit 500 Adernpaaren schon dem augenblicklichen Bedarf entsprechen und wenn zugleich für die anschließenden Verzweigungen die kleineren Öffnungen zur Verfügung stehen. Ihre Verwendung wird aber auch dort zweckmäßig werden, wo wegen örtlicher Schwierigkeiten die erforderliche Anzahl der kleineren Platten nicht untergebracht werden kann, wenn also die dünneren Kabel streckenweise zu starken Kabeln zusammengefaßt werden müssen. Der Vorteil der 12 cm-Kanäle geht jedoch verloren, wenn Kabel eingezogen werden, die auch noch in 10 cm-Öffnungen hineinpassen. Vielleicht wird überhaupt die Verwendung von Platten mit 12 cm-Öffnungen auf eine Übergangszeit beschränkt bleiben können, wenn die Bestrebungen der Kabelfirmen und der Telegraphenverwaltungen verwirklicht werden, auch die 500paarigen

Kabel mit 0,8 mm-Leitern so dünn herzustellen, daß sie ohne Gefahr auf dieselbe Länge, wie z. B. die 250 paarigen Kabel, in 10 cm-Löcher eingezogen werden können. Bei erheblich kürzeren Längen würde der Gewinn sonst sehr bald durch die größere Zahl der Brunnen und Spleißstellen wieder wettgemacht und sogar zum Gegenteil umgewandelt werden können. Es ist hierbei noch zu berücksichtigen, daß sich 500- und z. B. 350paarige Kabel von gleichem Durchmesser nicht gleichmäßig gut einziehen lassen, da die ersteren in diesem Falle fester gepreßt und daher widerstandsfähiger sind gegen eine Formveränderung durch die Auftrommelung und beim Einziehen. Noch günstiger werden die Verhältnisse liegen, wenn erst Kabel mit 0,6 mm-Leitern in größerem Umfange angewendet werden (s. S. 96). Von diesen lassen sich selbst 600paarige ohne Schwierigkeit in 10 cm starke Rohre einziehen. Infolge der Verminderung des Raumbedarfs der Kanäle werden sich dann viele örtliche Schwierigkeiten vermeiden und große Kosten ersparen lassen.

In der nachfolgenden Zusammenstellung sind zur Vergleichung die durchschnittlich in Berlin entstandenen Aufwendungen für 1 km verlegten Kabelkanal für Zementplatten (10 cm-Rohre) und Eisenrohre (9 cm) im Bürgersteige, bei rund 40 cm Aufschüttung oberhalb des Kanals, angegeben; die Kosten für die erforderlichen Brunnen sind mit eingerechnet. Da sich das Einziehen stärkerer Kabel in die glatten Eisenrohre mit 9 cm-Öffnung ungefähr ebenso bequem gestaltet, wie in 10 cm-Zementrohre, so können diese Kanäle zum Vergleich wohl herangezogen werden.

Zahl der Öffnungen	Kosten des Kanals aus		Mithin entfällt auf eine Kanalöffnung für 1 km	
	10cm-Zementplatten ℳ	Eisenrohren ℳ	Zementkanal ℳ	Eisenrohrkanal ℳ
4	10 700	20 100	2675	5025
8	13 300	32 330	1663	4041
12	16 400	44 590	1367	3716
16	19 500	56 890	1219	3556
20	22 600	69 200	1130	3460

Hieraus ist zahlenmäßig der erhebliche wirtschaftliche Vorteil der Kanäle aus Zementplatten gegenüber denjenigen aus Eisenrohren zu ersehen.

Kanäle aus Tonrohren.

Kanalanlagen aus gebranntem Ton sind zuerst in Amerika [1]), dann aber auch namentlich in England zur Verwendung gekommen und haben in diesen beiden Ländern große Verbreitung gefunden. Es erscheint daher wohl angebracht, den Ursachen zu einem solchen Vorgehen nachzuforschen, zumal diese sogenannten Steinzeugrohre auch auf dem europäischen Festlande immer mehr Eingang finden. Im Reichs-Telegraphengebiet [2]) sind mit solchen Tonrohren in einigen größeren Fernsprechnetzen ebenfalls bereits Versuchslinien hergestellt worden.

[1]) Kempster B. Miller, S. 839; Abbott, Part. II, S. 21. — [2]) Archiv für Post und Telegraphie 1902, S. 221.

Die Hauptbedingung ist ein möglichst gutes, reines Rohmaterial; dieses ist ganz besonders in Nordamerika in großen Mengen vorhanden. Die Tonrohre werden hart gebrannt und innen und außen mit einer salzglasierten Oberfläche versehen. Die Baulänge ist im allgemeinen 50 cm. Infolge dieser geringen Länge wird der ganze Kanal zwar etwas anpassungsfähiger, andererseits aber auch wieder teurer beim Verlegen. Die innere lichte Weite beträgt bei den in Deutschland verwendeten Rohren 90 mm, die Wandstärke bis zu 1,6 mm; die Enden der Rohre sind nach einwärts abgeschrägt, damit bei der Verlegung keine vorspringenden Ecken an den Stößen entstehen.

Es gibt zurzeit vier verschiedene Grundformen von Tonrohren:

Die ursprüngliche Type hat quadratischen Querschnitt mit kreisrunder Öffnung. Sie hat den Vorteil, daß die Rohre in einfacher Weise wie Backsteinmauerwerk aufgebaut werden können; auch findet bei dieser Form der geringste Mörtelverbrauch statt. Der feste Zusammenhang ist jedoch allein durch das Anhaften des Bindemittels an den glatten Außenflächen bedingt. Um dieses Anhaften zu erleichtern, werden die Seitenflächen mit rillenartigen Längsnuten versehen. **Abb. 60** stellt eine solche vielfach, z. B. in Brüssel, angewendete Form dar.

Abb. 60.

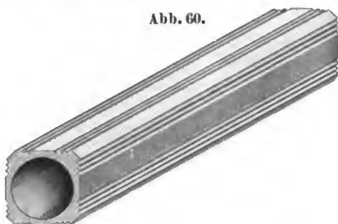
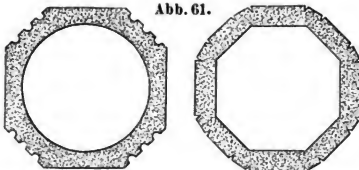


Abb. 61.



Die zweite Grundform ist das kreisrunde Rohr, welches das Maximum an Mörtel gebraucht. Auch hier hängt die Festigkeit des ganzen Gefüges zwar von dem Zusammenhalt von Rohr und Füllmasse ab, doch wird eine hohe Festigkeit dadurch erreicht, daß das Rohr vollständig in letztere eingebettet wird.

Zwischen diesen beiden Formen liegen als dritte das achteckige Rohr und viertens das Rohr mit ausgekehlten oder abgerundeten Ecken.

Die bei der R. T. V. bevorzugten beiden Querschnitte zeigt **Abb. 61.** Man ist von der ursprünglich gewählten Form — innen einen Kreis, außen ein an den Ecken abgeschrägtes Viereck — später zu der neuen Form der zwei konzentrischen Achtecke übergegangen, da sich ergeben hat, daß sich die Werkstücke der alten Form während des Trocknens krumm zogen. Diese Erscheinung wurde auf die durch den Querschnitt bedingte ungleichmäßige Verteilung der Masse zurückgeführt. In der Tat sind bei der neuen Type mit überall gleicher Wandstärke nur noch selten Verkrümmungen vorgekommen. Es ist zu erwarten, daß die Fabrikation auf Grund längerer Erfahrung bei

passender Wahl des Materials und geeignetem Brennverfahren allmählich über diesen Mangel, der zuerst auch in Amerika störend empfunden wurde, vollständig hinwegkommen wird.

Der außerordentliche Vorteil dieser Rohre liegt in der Glätte ihrer Innenfläche, so daß die Kabel ohne jede Beschädigung leicht auch auf längeren Strecken und verhältnismäßig in großer Stärke eingezogen und zugleich die Kosten für Brunnen und Lötstellen herabgemindert werden können. Die Rohre sind gegen Druck genügend fest, sie sind vollständig undurchlässig und enthalten keine den Bleimantel der Kabel gefährdenden Bestandteile. Die Steinzeugrohre sind ferner sehr handlich, den verschiedenen örtlichen Verhältnissen anpassungsfähiger, als die meisten anderen Konstruktionen und können wegen ihrer glatten Innenfläche ohne Befürchtung für das Kabeleinziehen auch in schwachen Kurven verlegt werden.

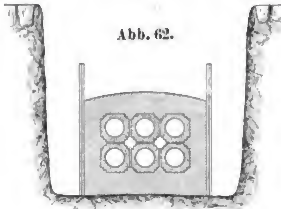
Der Aufbau der Steinzeugkanäle erfolgt in Beton und Zementmörtel. Zunächst wird nach Aushebung des Grabens die Sohle mit einer etwa 7 cm starken Betonschicht bedeckt. Dann werden, ähnlich wie bei Ziegelmauerwerk, die einzelnen Rohre mit seitlich und nach oben und unten versetzten Stößen eingebaut. Zwischen die Rohre der einzelnen Schichten und zwischen die Schichten selbst kommen dünne, etwa 1 cm starke Lagen von Zementmörtel. Zum Abdichten der Stöße der aneinander gereihten einzelnen Stücke wird in der Regel asphaltiertes Band verwendet, das rings um die Stoßstellen fest unter die Zementauflagen gelegt wird; der Zweck wird damit vollständig erreicht.

Nach Verlegung einer gewissen Länge wird der Kanal an beiden Seiten mit Holzbrettern verschalt — wie z. B. aus Abb. 62 zu ersehen ist — und dann an den Seiten und oberhalb mit einer Betonschicht bekleidet. Sobald diese Schicht genügend erhärtet ist, kann der Graben zugeworfen werden; der Kanal muß aber während des Erhärtens vollständig in Ruhe gelassen werden. Die Betonunterbettung soll zur Erzielung einer genügenden Festigkeit in jedem Fall vorhanden sein. Der Seiten- und Deckenschutz hat nur den Zweck, den Kanal gegen etwaige Beschädigungen bei Grabarbeiten zu sichern und kann daher, wenn keine Gefahr zu befürchten ist, fortgelassen werden. Doch wird zweckmäßig der volle Zementmantel überall angewendet werden, da er besseren Schutz und größere Festigkeit, namentlich auch bei Starkstromkurzschlüssen, gewährt. Die Holzverschalung wird in Amerika vielfach im Kanal belassen, wenn die Kosten für die Herausnahme den geringen Materialwert überschreiten.

Der Bau eines solchen Kanals geht ohne Schwierigkeiten vonstatten, jedoch ist nach den bisherigen Erfahrungen der R. T. V. ein größerer Zeitaufwand als beim Bau eines entsprechend starken Zementkanals erforderlich, ferner ist der Aufbau von der Witterung nicht unabhängig. Da auch zurzeit das Formstück noch teurer ist und mehr Hilfsmaterial verbraucht, so wird die ganze Anlage kostspieliger als ein Zementkanal.

Die Kosten stellen sich nach den in Berlin gemachten Erfahrungen, entsprechend den auf S. 171 für Zementplatten und Eisenrohre angegebenen Sätzen auf 14 400, 19 360, 25 920, 32 000 und 38 000 ℳ, oder für eine Öffnung auf eine Kanallänge von 1 km auf 3600, 2420, 2160, 2600 und 1900 ℳ. Es ist jedoch zu erwarten, daß diese Beträge durch längere Praxis

allmählich immer mehr den für Zementkanäle erforderlichen Aufwendungen näher kommen werden, so daß mit dem in vieler Beziehung ausgezeichneten Material auch größere Anlagen ausgeführt werden können.


Abb. 62.

Der **Raumbedarf** für Kanäle aus Steinzeugrohren würde bei Verwendung des in Abb. 61 dargestellten achteckigen Kanalzuges und einer 7 cm starken Zementummantelung dem Raumerfordernis für die entsprechende Anzahl Zementformstücke mit 10 cm-Öffnungen ziemlich gleich sein. **Abb. 62** zeigt einen solchen Kanalquerschnitt für sechs Rohre. In **Abb. 63** ist vergleichsweise eine vielfach in England übliche Art des Aufbaues der Steinzeugkanäle dargestellt.

Es soll schließlich noch bemerkt werden, daß in Amerika in größerem Umfange auch bereits Werkstücke aus Steinzeug mit quadratischem oder rechteckigem Querschnitt mit mehreren Öffnungen, also in Blockform, zur Anwendung kommen; bei der Herstellung dieser Stücke sind natürlich ganz besonders alle notwendigen Vorsichtsmaßregeln zu beachten. Auch diese Art Kanäle soll sich gut bewährt haben.

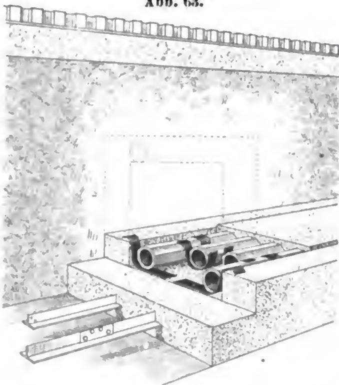
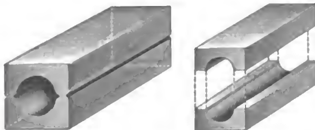
Abb. 63.


Abb. 64.


Seit einigen Jahren ist ein Steinzeugmaterial auf den Markt gebracht worden, das als **Normalkabelstein** bezeichnet und von der Deutschen Normal-Kabelstein-Industrie, J. Stübe, in Hildesheim, vertrieben wird. Der Stein besteht ebenfalls aus hartgebrannter Tonmasse. Das Verziehen der Masse beim Trocknen und Brennen soll durch die Form und die besondere Art der Herstellung der neuen quadratischen Steine vermieden werden. Diese haben eine Länge von 25 cm, eine innere lichte Weite von 9 cm und eine äußere Seitenhöhe von 14 (2 × 7) cm. **Abb. 64** zeigt einen solchen Stein im angelieferten und

im zerteilten Zustande. Der Stein ist an den beiden Längsseiten mit einer Einkerbung versehen. Unmittelbar vor dem Verlegen werden die einzelnen Formstücke in der Richtung der Spaltnute durch einen kräftigen Hammerschlag gespalten, was leicht und sicher vor sich geht. Die sich hierbei bildenden Bruchflächen sollen die Falze ersetzen. Beim Einbetten des Kanals werden zunächst die unteren Hälften genau aneinander passend verlegt, dann die oberen Hälften sorgfältig darauf gelegt und die Stoßstellen unter Beifügung von Asphaltpappe mit Zementmörtel verstrichen. Das Verschieben der beiden Steinhälften soll durch die dicht schließende unregelmäßige Bruchfläche vermieden werden. Zum Schluß folgt in der Regel noch eine Ummantelung des ganzen Kanals mit Mörtel. Der Stein kann nach seiner Konstruktion auch als Rinnenlager [1]) für ein Einbettungssystem verwendet werden. Die Aufmauerung des Kanals ist sehr einfach und geht schnell vonstatten; die unterste Lage ist auf der Sohle der Baugräben zweckmäßig in Zement zu betten. Das Einziehen der blanken Kabel in solche Kanäle hat

Abb. 65.



sich recht befriedigend gestaltet, obwohl das Innere nicht so glatt wie bei den vorher beschriebenen Steinzeugrohren ist. In **Abb. 65** ist ein Kanal aus Normalkabelsteinen — ohne Zementmantel — dargestellt. Der Preis des einzelnen Steines ist sehr mäßig (10 ₰ frei Verwendungsstelle); doch erfordert ein solcher Kanal infolge der notwendigen Zusammensetzung der zahlreichen kurzen Stücke erheblich mehr Kosten für Arbeit und Nebenmaterial, als Kanäle mit längeren Formstücken.

Fugenlose und gebohrte Kanäle.

Die bisher besprochenen Kabelkanäle gewähren zwar den in dieselben eingezogenen Kabeln hinreichenden Schutz, sie ermöglichen auch ohne Schwierigkeit und Verkehrsstörung das Ein- und Herausziehen der Kabel, sie haben aber sämtlich das gemeinsame Merkmal, daß sie aus einzelnen Werkstücken zusammengesetzt werden müssen, deren Fugen und Verbindungsstellen erst wieder besonders zu vereinigen und zu dichten sind. Es liegt auf der Hand,

[1]) Zu vgl. Anm. 1, S. 152.

daß durch sorglose Arbeitsausführung oder mangelhaftes Material eine Gefährdung des Kanals selbst oder aber der Kabel zu befürchten ist, wie sie denn auch tatsächlich schon vielfach eingetreten ist. Diesem Übelstande hat man dadurch abhelfen wollen, daß naht- und fugenlose Rohrzüge auf die ganze durchgehende Kanallänge, unter gleichzeitiger Imprägnierung oder Abdichtung der Innenfläche, hergestellt werden sollten.

Ein solches Verfahren ist z. B. von einer Gesellschaft für Kabelschutzanlagen in folgender Weise ausgearbeitet: Mit einer durch Wärme löslichen Isolierschicht umgebene Eisenrohre werden als Kerne für die Kanalöffnungen in den ausgeworfenen Kanalgräben verlegt. Die Rohre werden dann vollständig in Zement eingebettet, und nach genügender Trocknung wird die Isolierschicht durch Einführung von Dampf in den hohlen Kern geschmolzen. Die schmelzende Masse schlägt sich an den Zementkanalwandungen nieder und soll nach dem Herausziehen der Kernrohre als Isolierschicht für die einzelnen Kanalzüge dienen. Durch Über- und Aneinanderreihen derartiger Kerne können mit einer verhältnismäßig geringen Zahl von Eisenrohren beliebig viele und beliebig lange Kanäle gebildet werden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß die schmelzende Masse in der Hauptsache nur den Boden und etwa die halbe Höhe der Kanalwand bedecken wird, daß also eine vollständige Imprägnierung der ganzen Wandungen nicht zu erreichen ist. Ein großer Vorteil ist aber neben der Erzielung eines ununterbrochenen Kanalzuges andererseits dadurch gewonnen, daß der Kanal an Ort und Stelle hergestellt werden kann, der Transport der zahlreichen Werkstücke also fortfällt. Dieses System ist bisher wohl nur in England für Starkstromkabel in Anwendung gekommen.

Ein anderes Ziel verfolgt ein Vorschlag der Internationalen Bohrgesellschaft in Erkelenz. Diese hat sich ein Verfahren zur Verlegung von Rohrleitungen unter Fortfall des Aufbrechens der Straßen durch Bohren mittels Bohrmaschinen patentieren lassen. Beim Bohren soll der durch Maschinenkraft betriebene und vorwärts geschobene Bohrer aneinander gereihte Eisenrohre mitnehmen. Das Herausbefördern des losgebohrten Erdreichs erfolgt mittels Spülung durch ein besonderes, um den Bohrer befindliches Holzgestänge. Ein solches Bohrverfahren kann jedoch für die schon mit zahlreichen anderen unterirdischen Anlagen besetzten öffentlichen Straßen der Städte überhaupt nicht in Betracht kommen. Unter gewissen Umständen könnte es jedoch von Vorteil sein, z. B. beim Durchstechen von Eisenbahndämmen, zur Unterführung unterhalb von Flüssen, Kanälen, bebauten Grundstücken usw. Die Einrichtung erfordert auch viel Platz für die Maschinen- und sonstigen Anlagen. — Praktisch ausgeführt ist ein solcher Kanal bisher wohl noch nicht.

Kabelbrunnen.

Das Einziehsystem macht es erforderlich, daß in die Kanalanlagen in gewissen Abständen Einsteigschächte, sogenannte Kabelbrunnen, eingebaut werden. Diese Einrichtungen haben den Zweck, das Einziehen der Kabel in die Kanalrohre zu ermöglichen und ebenso die Wiederherausnahme von Kabeln zu gestatten. Im weiteren sind sie zur Aufnahme der Verbindungs-

stellen zwischen den einzelnen Kabellängen vorgesehen. Der notwendige Abstand zwischen den einzelnen Brunnen kann nicht allgemein angegeben werden. Die Anzahl der Brunnen wird außer durch die Länge des Kanals durch die Art des unterirdischen Systems, die Stärke der Kabel und die Beschaffenheit der inneren Rohrfläche der Kanalzüge bestimmt. Vielfach sind außerdem die örtlichen Verhältnisse ausschlaggebend, d. h. die Art und der Umfang der in dem Straßenkörper bereits vorhandenen anderweitigen Anlagen oder sonstigen Hindernisse, der Verlauf der Straßenzüge, ferner die allgemeinen Vorschriften der städtischen Verwaltungen und etwaige besondere Vereinbarungen (s. S. 148). Aber selbst bei den günstigsten Verhältnissen darf über eine gewisse Entfernung nicht hinausgegangen werden, da die Schwierigkeiten und Kosten für die Beförderung der aufgetrommelten Kabel und namentlich für das Einziehen und Herausziehen der schweren Kabel mit zunehmender Länge sehr schnell wachsen. Es wird sich daher der Punkt ergeben, wo es technisch und wirtschaftlich richtiger ist, einen Kabelbrunnen zu bauen und Kabelspleißstellen anzufertigen. Andererseits ist jedoch darauf Bedacht zu nehmen, nicht mehr als die nach den jeweiligen Verhältnissen unbedingt erforderlichen Brunnen anzulegen, da diese viel Raum und Kosten erfordern, und weil auch die unnötige Häufung der Lötstellen durchaus unerwünscht ist.

Zunächst sind Kabelbrunnen an den Anfangs- und Endpunkten einer Kanallinie, dann an allen Kanalabzweigungspunkten und schließlich an den durch die besonderen Verhältnisse (Winkelpunkte, Hindernisse, wechselnde Höhenlage oder große Länge des Kanals u. a. m.) gebotenen Stellen in die Linie zu setzen. Die gegenseitige Entfernung der Brunnen ist beim Vollrohr- und beim Einzelrohrsystem verschieden zu bemessen. Bei letzterem können wegen des leichteren Einziehens im allgemeinen weitere Abstände genommen werden. Die Brunnen sind in der Kanallinie und an den Straßenecken so zu verteilen, daß später die Herstellung neuer Seitenlinien und deren Anschluß an die bestehenden Linien möglichst ohne Einschaltung neuer Brunnen erfolgen können. In der fortlaufenden Linie soll der Abstand zweier Brunnen nicht über eine Entfernung von etwa 200 m hinausgehen und diese auch nur dann erreichen, wenn die Rohre ganz gerade verlaufen, innen gut geglättet sind, und wenn die einzuziehenden Kabel hinreichend Spielraum in den Kanalrohren haben. Von den stärkeren und schwereren, z. B. 500 paarigen Kabeln werden dagegen Längen von mehr als etwa 120 m kaum noch ohne Gefahr einzuziehen sein.

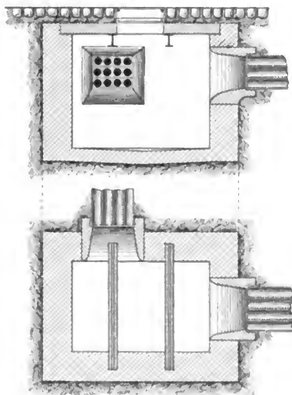
Die Größe der Kabelbrunnen ist in der Hauptsache von der Zahl der Kanalöffnungen und von der Zahl und Größe der Lötstellen abhängig. Hierbei darf allerdings unter eine gewisse Ausdehnung überhaupt nicht hinabgegangen werden, da für die Einzieh- und Lötarbeiten jedenfalls genügend Bewegungsfreiheit gelassen werden muß. Auch muß mit den vorhandenen und sonst noch beabsichtigten fremden Anlagen gerechnet werden, da diese bei einer später etwa notwendig werdenden Verstärkung des Kanals eine Erweiterung der Brunnen unter Umständen unmöglich machen können. Man kann im allgemeinen sagen, daß es besser ist, größere, als kleine Brunnen zu bauen, jedoch ist die oft vertretene Ansicht, daß die Brunnen überhaupt nicht geräumig genug gebaut werden können, in diesem Umfange keinesfalls zu rechtfertigen.

Die Tiefe der Brunnen richtet sich zunächst nach der Tiefenlage und dem Umfange des Kanals selbst, dann auch wieder nach etwaigen ört-

lichen Beschränkungen. Die Brunnensohle soll nach den Vorschriften der R. T. V. im allgemeinen 75 cm unterhalb der Unterkante des untersten Kanalzuges liegen, um die notwendigen Spleißarbeiten auch an den zu unterst liegenden Kabeln bequem zu ermöglichen. Bei günstigen Verhältnissen (kleiner Kanal, gerade Linie) kann dieser Abstand nötigenfalls bis auf 40 cm verringert werden.

Als äußere Form der Brunnen wird im allgemeinen die rechteckige Grundform gewählt, jedoch sind auch Brunnen mit bogenförmigen Seitenwänden gebräuchlich. Diese letztere Art der Brunnenanlage soll verhindern, daß die einzuziehenden Kabel sich an den Brunnenwänden reiben. Wenngleich dieser Zweck zwar besser bei gebogener als bei eckiger Grundform erreicht wird, so läßt sich doch bei einiger Aufmerksamkeit und Vorsicht auch bei der rechteckigen Form Gefährdung ausreichend vorbeugen. Der Vorteil der elliptischen Brunnen besteht ferner in dem etwas geringeren Bodenaushub und Materialverbrauch. Andererseits ist aber nicht zu verkennen, daß die gleichmäßige Herstellung solcher Brunnen infolge der sonstigen Anlagen im Erdkörper oft gar nicht möglich ist, da bei schwierigen Verhältnissen irgendwelche Mauervorsprünge in den Brunnenwänden doch nicht zu vermeiden sind; auch ist die Anlage von seitlichen Kanalabzweigungen bei dieser Form nicht immer so einfach auszuführen, wie bei der eckigen Form. Immerhin werden derartige Brunnen in gerader Linie von gutem Nutzen sein, ihre allgemeine Anwendung kann jedoch nicht befürwortet werden.

Abb. 66.



Im Laufe der Zeit haben sich bei den einzelnen Telegraphen-Verwaltungen und -Gesellschaften gewisse Normalformen als Grundlage für den Bau und die Berechnung der Kabelbrunnen herausgebildet. Es soll jedoch gleich hier darauf hingewiesen werden, daß die als Normaltypen gewählten und den Ausschreibungen zugrunde gelegten Formen durchschnittlich doch nur selten ganz genau zur Ausführung kommen können, da die örtlichen Verhältnisse sehr oft Abweichungen, ja selbst vollständig andere Konstruktionen erfordern. Die Normalformen sollen auch nur einen Anhalt dafür geben, in welcher Anordnung und mit welchen Hilfsmaterialien und Verstärkungen im allgemeinen die Anlage der Brunnen beabsichtigt ist. Der Einheitlichkeit und gleichmäßigeren Preisberechnung wegen wird denn auch bei der Ausführung nach Möglichkeit an den im Prinzip vorgeschriebenen Formen und Größenverhältnissen festzuhalten sein.

Bei der R. T. V. sind in der für die Ausführung aller Bauarbeiten grundlegenden Telegraphenbauordnung die für gewöhnlich gebräuchlichen Ab-

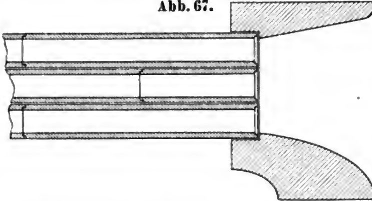
messungen, sowie die aus **Abb. 66** ersichtliche Konstruktion der Brunnen angegeben. In der Praxis muß aber der weiteste Spielraum für die Ausführung im einzelnen gelassen werden. Der Brunnenbau hat sich daher so entwickelt, daß jeder einzelne Ober-Postdirektionsbezirk die nach seiner Verkehrsbedeutung und seinen besonderen Verhältnissen und Erfahrungen am zweckmäßigsten erscheinenden Brunnentypen, unter möglichster Anpassung an die allgemeinen Grundformen, als Normalbrunnen festgelegt hat.

Als Material für die Brunnen kommen Ziegelsteinmauerwerk aus besten, hartgebrannten Backsteinen und ferner Stampfbeton in Frage. Die Wahl ist durch die Erfahrungen und die Möglichkeit und Zweckmäßigkeit der Beschaffung an den verschiedenen Orten bestimmt. Backsteinmauerwerk ist im allgemeinen nichts teurer, es hat aber eine geringere Dauerhaftigkeit und weniger Widerstandsfähigkeit gegen äußere Angriffe, als der nach neuerem Verfahren gestampfte, äußerst harte Beton. Der große Vorteil der Ziegelsteinverwendung liegt andererseits in der vollständigen Anpassungsfähigkeit auch an die ungünstigsten örtlichen Verhältnisse und in der Möglichkeit der Überwindung von Hindernissen, um die das Mauerwerk in bequemer Weise herumgebaut werden kann, so daß also nach Bedarf jede beliebige Größe und Form leicht zu erzielen sind. Der Beton (S. 153) erfordert zu seiner Verarbeitung Schalwände aus Holz, zwischen die das Material fest eingestampft wird. Solche Formen können aber nicht jedem Erfordernis der örtlichen Verhältnisse ohne weiteres angepaßt werden, auch können zwischenliegende Hindernisse nur sehr schwer umgangen werden. Ferner kommt in Betracht, daß derartige Wände nach Fertigstellung zunächst bis zum Erhärten des Betons noch einige Zeit in der Holzverkleidung stehen bleiben müssen, ehe das Holz herausgenommen und die Baugrube zugeworfen werden kann. Auch der spätere Umbau und die Erweiterung vorhandener Brunnen sind bei Betonmauerwerk schwer auszuführen. An sich stellt zwar eine solche aus fest gestampftem, zusammenhängendem Material hergestellte Wand zweifellos eine Anlage von großer Festigkeit und Dauerhaftigkeit dar, aus den angeführten Erwägungen ist man jedoch im Bereich der R. T. V. meistens bei der Verwendung von Ziegelsteinen geblieben.

In der Ausführung der Brunnenbauten besteht auch hinsichtlich der Wandstärke ein wesentlicher Unterschied. Die im Fußgängersteige anzulegenden Brunnen sollen bei der R. T. V. in der Regel eine Wandstärke von 25 cm — d. h. eine Normalziegelsteinbreite — haben, während die im Fahrdamm einzubauenden Brunnen 35 bis 40 cm oder $1^1/_2$ Mauersteine (38 cm) stark hergestellt werden, da sie den möglichen stärksten Druck der schwersten Fuhrwerke sicher aushalten müssen. Die Anordnung der Brunnen im Fahrdamm oder Bürgersteige ergibt sich aus der Kanallage. Unter besonderen örtlichen Verhältnissen, bei sehr tiefen und großen Brunnen, muß die Wandstärke sogar noch weiter erhöht werden; so sind z. B. Brunnen auch mit zwei bis drei Mauersteinstärken gebaut worden. Andererseits machen sich aber in den dicht besetzten Straßen der größeren Städte oft Schwierigkeiten geltend, überhaupt nur den Platz von 50 oder 76 cm für zwei Brunnenwände zu gewinnen. Die Bestrebungen der städtischen Verwaltungen gehen auch immer mehr dahin, im Interesse der übrigen im Straßenkörper, namentlich der im Bürgersteige unterzubringenden und vielfach in städtischem Besitz

befindlichen anderen Rohr- und Kabelanlagen den für die Kabelbrunnen der Telegraphenverwaltung erforderlichen Raum nach Möglichkeit zu beschränken und in erster Linie geringere Wandstärken zu verlangen. Solchen Wünschen ist eine Berechtigung nicht abzusprechen, es müssen daher vielfach die Anforderungen der verschiedenen Behörden und Gesellschaften durch eine den Verhältnissen möglichst angepaßte Ausführung der Brunnen auszugleichen versucht werden. Zunächst sind wohl die Bürgersteigbrunnen schon ziemlich allgemein mit halber Ziegelsteinbreite, unter Verstärkung durch Eisenträger, zugelassen. Durch Anlehnung an die Längswände der Häuser kann in geeigneten Fällen sogar eine ganze Wandbreite erspart werden. Grundsätzlich abzusehen ist jedoch von der Herstellung der Kabelbrunnen nur aus Eisen, da diese Konstruktion eine große Starkstromgefahr mit sich bringen würde. Bei Verwendung von Eisenstabeinlagen, z. B. in Betonwänden nach der Monierbauart, ist zu berücksichtigen, daß auf jeden Fall die äußeren Betonwandungen noch ausreichenden Schutz gegen die neben den Brunnen etwa verlaufenden Starkstromkabel bieten müssen. Die Festigkeit auch der dünneren Wände muß nicht nur dem Bodendruck, sondern auch dem beim Einziehen von Kabeln durch die Einspannvorrichtungen usw. verursachten Druck ausreichend gewachsen sein.

Abb. 67.



Die in die Kabelbrunnen einzuführenden Kanalrohre dürfen nicht mit der inneren Brunnenwand abschließen, da sonst das Anlegen der Kabel an die Seitenwände der Brunnen erschwert wird und auch beim Einziehen Schwierigkeiten entstehen. Die Rohre sollen im allgemeinen etwa 30 bis 50 cm vor der Brunnenwand endigen. Die Verbindung zwischen Kanal und Brunnen erfolgt, wie in den **Abb. 67** und 66 dargestellt ist, in der Regel durch einen aus gleichem Material wie die Brunnenwand angefertigten, nach dem Brunnen sich trichterförmig erweiternden kurzen Kanal, den sogenannten Anlauf. An einem solchen Anlauf sind scharfe Kanten sorgfältig zu vermeiden. Diese Anläufe bieten beim Kabeleinziehen noch den besonderen Vorteil, daß die kleinen Packrollen bequemer und günstiger untergebracht werden können, außerdem erleichtern sie auch das Einziehen, wenn der Kanal an dem Brunnen einen Winkel bildet und die Kabel durch den Brunnen durchgezogen werden sollen. Zuweilen wird zum Abschluß der Kanäle und zu ihrer Verbindung mit den Brunnen auch wohl von besonders angefertigten Kanalmundstücken aus Zement Gebrauch gemacht. Die Stücke müssen aber, entsprechend den verschiedenen Kanalstärken, in mehreren Größen vorrätig gehalten werden; dieses ist schon wenig angenehm. Außerdem erlauben solche Mundstücke nicht die volle Ausnutzung des Brunneninnern, da in derartigen Lötbrunnen die an der Wand entlang zu führenden Kabel größere Teile der Brunnenecken abschneiden müssen, während sie bei Vorhandensein von Anläufen in verhältnismäßig größerem Radius und auch

gesicherter gelagert werden können, ohne den zur Verspleißung erforderlichen Raum unnötig zu beschränken. In gerader Linie und bei mittelstarken Kanälen stehen jedoch der Anbringung solcher fertiger Werkstücke besondere Bedenken nicht entgegen.

Zum Einführen der Kabel und als Zugang für die Arbeiter erhalten die Kabelbrunnen an der Decke, im allgemeinen in der Mitte, eine Einsteigöffnung mit Abdeckung. Die Größe dieser Öffnung hängt von der Größe des Brunnens ab. Die Abdeckungen sollen sich aber zum Schutz der im Innern beschäftigten Arbeiter selbst bei den kleinen Anlagen nur über einen Teil der Brunnendecke ausdehnen. Die Brunnen sind daher, entsprechend ihrem Umfange, mit Überwölbungen durch Eisenträger und dazwischen gebettete Mauersteine nach oben abzuschließen; die Brunnenwände werden als Auflager für die Abdeckungen halsförmig nach dem Innern eingezogen, so daß nur in der Mitte die notwendige Öffnung bleibt. Bei sehr tiefen Brunnen, besonders im Fahrdamm, wird zur Verringerung des Raumbedarfs und der Kosten und zur Erhöhung der Festigkeit die lichte Weite des Brunnens überhaupt nicht bis dicht unter die Straßenoberfläche auszudehnen sein, es müssen vielmehr die Decken tiefer liegen und besonders gut verstärkt werden. Zum Einlaß der Kabel und Einsteigen der Arbeiter wird dann nach Art der sogenannten Mannlöcher ein engerer Schacht nach oben aus dem Brunnen herausgebaut. Solche tiefe Kanal- und Brunnenanlagen sind zwar wenig erwünscht, da sie das Arbeiten außerordentlich erschweren und erhebliche Kosten verursachen, sie lassen sich aber wegen der örtlichen Verhältnisse zuweilen nicht vermeiden.

Die Kabelbrunnen wurden bei der R. T. V. früher nach ihrem verschiedenen Zweck als Löt-, Zieh- und Eck- oder Abzweigbrunnen bezeichnet und hergestellt. Eine solche Unterscheidung ist wieder fallen gelassen, da sie bei den verschiedenen Anforderungen an die einzelnen Brunnen nicht durchzuführen war. Als Ziehbrunnen bezeichnet man aber auch jetzt wohl noch die kleinen Not- oder Hilfsbrunnen, die in langen Kanalstrecken oder an schwachen Winkelpunkten eingebaut werden, um das Einziehen der Kabel über größere Strecken ohne Spleißstellen zu erleichtern; unter Umständen können in flachliegenden Kanälen zu solchen Zwecken zwei nebeneinander gesetzte Abzweigkästen (s. Abb. 74) Verwendung finden.

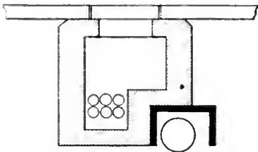
Der Aufbau der Brunnen geschieht bei den einzelnen Verwaltungen in recht verschiedener Weise. Im folgenden sollen, entsprechend den vorstehenden Ausführungen, nur einige Angaben hinsichtlich der bei der R. T. V. bestehenden Vorschriften gemacht werden, die allerdings großenteils auch wohl allgemeine Bedeutung haben werden.

Ein sehr wichtiges Erfordernis ist zunächst die möglichst gas- und wasserdichte Abdichtung des Bodens und der Wände. Die Sohle wird entweder aus Zementbeton oder aus einer doppelten Lage von Steinen unter Versetzung ihrer Fugen in Zementmörtel hergestellt. Außerdem sind bei Backsteinaufbau alle Fugen im Innern des Brunnens sorgfältig zu verstreichen und die Außenwände mit Zement zu berappen. Brunnen, die dauernd im Grundwasser liegen, und ebenso solche Brunnen, durch die Guttaperchakabel geführt werden sollen, sind nicht mit Zement, sondern besser mit Asphalt aufzumauern. Gegen das Eindringen von Grundwasser können die äußeren

Brunnenwände mit einer Schicht fetten Lehms umgeben werden. Die Sohle des Brunnens erhält meistens zur Ansammlung etwaigen Wassers in der Längsrichtung nach der Mitte zu ein geringes Gefälle. Mit Erfolg ist auch mehrfach von einer schmalen flachen Längsrinne in der Mitte der Brunnensohle, etwa in Ziegelsteingröße, Gebrauch gemacht worden (zu vgl. Abb. 88).

Die untere Kante der Einsteigöffnung wird durch Eisenträger gebildet. Die im Straßenniveau liegende obere Kante der Einsteigöffnung soll in der Regel mit einem Rahmen aus Bandeisen eingefaßt werden, der die Brunnenabdeckung aufzunehmen hat. Bei den im Fahrdamm liegenden Brunnen wird die eigentliche Decke des Brunnens unter dem Straßenpflaster zur größeren Festigkeit aus Granitplatten hergestellt, die auf starke, im Mauerwerk des Brunnens ruhende eiserne Träger gelagert werden (zu vgl. Abb. 66). Auf diesen Granitplatten ruht dann die Zarge der Einsteigöffnung. In manchen Städten wird die Einbettung der Brunnenzarge in die Oberfläche des Straßenpflasters nicht gestattet, da namentlich im Winter Passanten über das glatte Eisen zu Fall kommen können. In geeigneten Fällen ist dann von der verdeckten Zarge Gebrauch zu machen. Diese kann aber andererseits nur dort Anwendung finden, wo die Straßenpflasterung aus Platten besteht, da sonst die Brunnenabdeckung oben kein Widerlager finden würde. Bei Um- und Neupflasterungen von Straßen wird vielfach das Heben oder Senken der Zargen und Abdeckungen notwendig, diese Arbeit ist aber bei verdeckter Zarge und allgemein bei Betonbrunnen schwieriger und kostspieliger. Es empfiehlt sich daher, bei letzteren, ebenso auch überall bei Straßenbrunnen mit festen eisernen Kastenabdeckungen, beim Aufbau von vornherein zwischen Eisenrahmen und Abdeckung eine Ziegelsteinschicht einzulegen.

Abb. 68.



Die Einlassung fremder Anlagen in die Kabelbrunnen ist im allgemeinen zu vermeiden, namentlich ist dieses, von Starkstromkabeln noch ganz abgesehen, hinsichtlich der Gas- und Wasserrohre sehr bedenklich. Es kann aber gelegentlich zweckmäßig sein, die Brunnen balkonartig über fremde Rohranlagen zu bauen. Ist zu befürchten, daß durch die Last des Brunnens ein Druck auf die Rohre ausgeübt wird, so muß der ausgekragte Brunnenteil durch Eisenträger gestützt werden. Ein Beispiel zeigt **Abb. 68.**

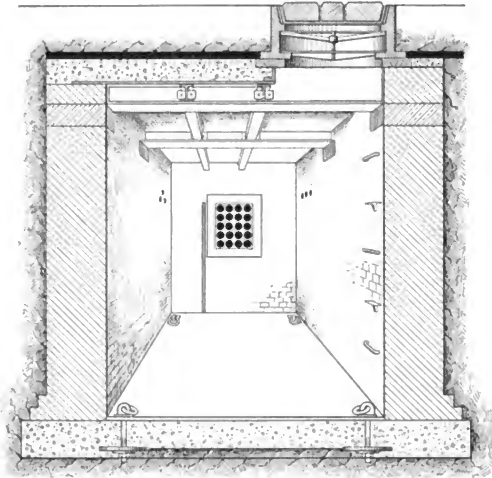
In **Abb. 69** ist zum Vergleich die typische Form eines größeren englischen[1]) Straßenbrunnens wiedergegeben. Rechts und links vom Hauptkanal gehen durch die Seitenwände die Rohre für Hausanschlußkabel ab. Neben der Kanalöffnung ist eine Erdschiene vorhanden, an einer Seitenwand sind unter der Einsteigöffnung Trittbretter angebracht. An den vier Ecken des Bodens befinden sich eiserne Ösen zum Halten der Zugseile beim Kabeleinziehen. In der Mitte des Brunnens wird gewöhnlich eine Tragevorrichtung für die Lötstellen aufgestellt.

Es soll hier noch einer besonderen Art von Brunnen kurz Erwähnung getan werden, die bei der R. T. V. zur Ersparung von Raum zeitweise ver-

[1]) Nach Herbert, Telegraph, Fig. 444, S. 756.

wendet worden sind und zunächst einen guten Erfolg zu versprechen schienen. Dieses sind die Brunnen aus fertigen Zementbetonringen von 10 cm Stärke. Auf eine Sohle von festen Zementplatten wird zunächst ein Vollring gebettet, darauf werden, gegenseitig durch Falze miteinander verbunden, je nach Tiefe des Brunnens die anderen, aus mehreren Teilen bestehenden Betonringe und als oberstes Werkstück wieder ein Vollring gelegt. An denjenigen Stellen der Wandung, wo Kanäle einzuführen sind, werden die entsprechenden Teilstücke fortgelassen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Platten beim Einziehen der Kabel dem Druck der Einspannvorrichtungen für die Gleitrollen nicht genügend standhielten. Bei einer etwaigen Verstärkung der

Abb. 69.



Platten würde aber der erzielte Vorteil der Raumersparnis annähernd wieder verloren gegangen sein. Eine weitere Schwierigkeit lag darin, daß eine Anpassung solcher Normalbrunnen an die verschiedenen örtlichen Verhältnisse nicht möglich war. Aus diesen Gründen ist von der Verwendung fertiger Betonringe zu Kabelbrunnen wieder abgesehen worden.

Die Kosten der Brunnen sind zunächst durch die Größe und weiter durch besondere örtliche Verhältnisse bedingt, da oft schwierige Konstruktionen und umfangreiche Eisenverstärkungen erforderlich werden. Im allgemeinen verursacht bei sonst gleichen Abmessungen der Aufbau in Mauerwerk dieselben Aufwendungen wie der in Stampfbeton. Eine andere Frage geht dahin, ob es zweckmäßig ist, die Brunnen im Akkord oder gegen Tagelohn und Berechnung der gelieferten Materialien anfertigen zu lassen, und wie im ersteren

Falle die Berechnung zu erfolgen haben wird, entweder nach dem Rauminhalt der Brunnen oder nach dem hergestellten Mauerwerk. Hinsichtlich des ersten Punktes hat die Erfahrung gelehrt, daß in der Regel, abgesehen von außergewöhnlich großen Brunnen, die Herstellung im Akkord nach Stückpreis für die einzelnen Brunnen wirtschaftlicher ist, da die Unternehmer in solchen Fällen ein Interesse daran haben, die Arbeiten möglichst schnell zu Ende zu führen. Es wird nach Maßgabe der verschiedenen Größenverhältnisse eine Anzahl Stufen, etwa mit einem Unterschied von je 1 cbm Rauminhalt, der Ausschreibung zugrunde zu legen sein; für besonders große Brunnen müssen aber bei dieser Art der Verrechnung die Preisforderungen verhältnismäßig geringer angesetzt werden. Die Vergebung der Arbeiten nach Kubikinhalt des Mauerwerks erfordert später viel Arbeit bei der Nachmessung und Berechnung und ist schon wegen des möglichen erheblichen Unterschiedes an Materialverbrauch bei gleichem Rauminhalt der Brunnen im allgemeinen weniger zu empfehlen. Ob und wieweit die Brunnenabdeckungen in die Akkordpreise aufzunehmen sind, richtet sich nach den Lieferungsmöglichkeiten und Preisforderungen.

Abdeckung der Kabelbrunnen.

Die äußere Abdeckung der Brunnen soll den örtlichen Verhältnissen angepaßt werden, sie erfolgt entweder durch Granitplatten, durch Riffelblech, gewürfelte Eisenplatten oder auch durch eiserne Kästen, die mit Asphalt, Holz, Mosaikpflaster usw. auszusetzen sind.

Die allgemeinen Erfordernisse für Brunnenabdeckungen sind folgende:

1. Widerstandsfähigkeit gegen die Belastungen durch den Straßenverkehr.
2. Gutes Einpassen in die Rahmen und Öffnungen der Brunnen.
3. Bequeme Handhabung bei nicht zu hohem Gewicht.
4. Vorbeugung gegen Gefahren für Fußgänger und Wagen.
5. Schutz der Kabelbrunnen gegen das Einfließen von Wasser.

Hinsichtlich der Konstruktion der Abdeckungen sind in der Praxis zwei grundsätzlich verschiedene Systeme zu erkennen. Die eine Art verfolgt das Prinzip, die Brunnenöffnung möglichst vollkommen luft- und wasserdicht abzuschließen. Die zweite Art, die in beschränktem Umfange das Einfließen des Straßenwassers zuläßt, sieht Einrichtungen zum Trockenhalten der Brunnen in anderer Weise vor und gestattet durch die in den Abdeckungen vorhandenen Öffnungen einen Luftausgleich zwischen dem Brunnen und der Außenatmosphäre. Das Fernhalten von Wasser aus den Brunnen ist aber von großer Bedeutung für die Kabel und Lötstellen, infolgedessen hat die R. T. V. allgemein an dem Grundsatz möglichst abschließender und undurchlässiger Abdeckungen festgehalten.

Für Bürgersteige werden in der Hauptsache Granitplatten verwendet, die auf der obersten Mauersteinschicht auf eine Zementbettung gelegt werden. Vorzüglich bewährt hat sich hierfür der harte schlesische Granit. Die Platten erhalten in der Mitte eine Vorrichtung zum Aufheben, wozu ein besonders konstruierter Plattenhebel benutzt wird. Eine recht lästige Erscheinung bei

den Granitplatten ist häufig das Klappern der Deckel bei ihrem Betreten. Um dieses zu vermeiden, sind mit Erfolg auf die Zementauflage der Platten Teerstricke, Bleistücke oder auch Filz gelegt worden. Besonders wichtig ist die richtige Einlagerung der Platten nach Beendigung von Brunnenarbeiten, damit sie ihre bei der Herstellung des Brunnens ausgepaßte gute Lage wieder erhalten. Die Auflagerflächen sollen jedesmal beim Öffnen der Brunnen gründlich gereinigt und nach Bedarf frisch mit Zement abgeglättet werden.

Die eisernen Abdeckungen haben eine sehr mannigfaltige Form; von ihrer Beschreibung im einzelnen wird hier abgesehen werden können. Derartige Brunnendeckel ruhen in eisernen Rahmen, die zweckmäßig nur aus einem einzigen Teil bestehen. Eiserne Abdeckungen sind grundsätzlich bei Straßenbrunnen [1]), bei Bürgersteigbrunnen je nach den örtlichen Verhältnissen zu verwenden.

Die Zahl der in einem gemeinsamen Rahmen zu lagernden Abdeckungen ist verschieden, jedoch wird über vier Stück für einen Brunnen nicht hinausgegangen, nötigenfalls sind die Überkragungen der Brunnenwände zu vergrößern. Unterhalb der oberen Abdeckungen werden bei der R. T. V. auf die Flanschen der Eisenträger noch übereinandergreifende Wellblechdeckel (zu vgl. Abb. 71) gelegt. Diese halten zunächst die größte Menge des Schmutzes von dem Brunneninnern ab und schützen auch die Kabel und Lötstellen, wenn etwa beim Aufheben oder Wiedereinlegen der Abdeckungen eine solche ausgleiten und niederstürzen sollte.

Versuche, die Brunnendeckel vollständig wasserdicht abzuschließen, haben zu keinem vollen Erfolge geführt. Da es sich zeigte, daß es unmöglich ist, eine Einrichtung zu treffen, die jeden Zutritt von Wasser fernhält, ist man namentlich in Amerika vollständig zum Gegenteil übergegangen, indem man ein Trockenhalten der Brunnen nur noch durch dauernde Ventilation erreichen will. Man gibt dort den Deckeln so viel Öffnungen, als es der Straßenverkehr und die Festigkeit nur irgend erlauben. Um aber zu vermeiden, daß das Straßenwasser in die Brunnen selbst gelangt, werden unterhalb der Deckplatten besondere kasten- oder eimerförmige Gefäße aufgehängt, in denen das eindringende Wasser aufgefangen wird. Die Konstruktion und Größe solcher Abdeckungen und Schlammfänge sind in erster Linie von dem Umfange der Brunnenöffnung abhängig. Auch bei der R. T. V. werden Schlammfänge namentlich bei Fahrbahnbrunnen vielfach benutzt.

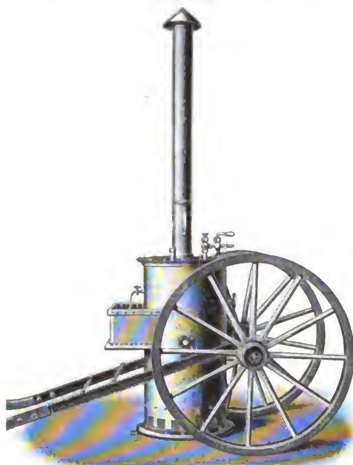
Eine besondere Schwierigkeit bildet das Einfrieren der Abdeckungen, das im Winter das Aufheben derselben oft kaum noch zuläßt. Das Auftauen der Deckel erfolgt zwar am einfachsten dadurch, daß man die Platten-

---

[1]) Die Granitplatten sind gegen die auf dem Straßenpflaster möglicherweise vorkommenden Belastungen (zu vgl. S. 156) nicht ausreichend fest. Die Berechnung der Festigkeit von an allen Seiten aufgelagerten ebenen Platten ist nach den einfachen Gesetzen für an zwei Seiten unterstützte Träger nicht zulässig, da die Bruchlinien bei allseitiger Unterstützung ganz anders — von den Eckpunkten diagonal zur Mitte — verlaufen. Allgemein gültige mathematische Gleichungen zur Berechnung derartiger Verhältnisse sind noch nicht aufgestellt; es sind bisher nur für verschiedene Fälle empirische Formeln ermittelt; zu vgl. „Hütte“, des Ingenieurs Taschenbuch, sowie S. C. Bach, Elastizität und Festigkeit, 4. Aufl., Berlin 1902.

ränder mit Spiritus begießt und diesen anzündet. Ein solches Verfahren ist jedoch wegen der Möglichkeit vorhandener Gasansammlungen in den Brunnen sehr gefährlich, aus Verkehrsrücksichten nicht erlaubt und zudem unzweckmäßig, weil z. B. die Granitplatten dabei leicht springen können. Wenn eine transportable Dampfanlage, etwa eine Dampfwinde zum Kabeleinziehen (zu vgl. Abb. 86) zur Verfügung steht, empfiehlt sich als gutes und schnelles Verfahren das Auftauen mit einem Dampfstrahl. Versuche mit besonderen Auftauapparaten haben ebenfalls befriedigende Ergebnisse gezeitigt. In **Abb. 70** ist ein in Berlin verwendeter Auftauapparat für Koksfeuerung dargestellt; der im Wasserkessel erzeugte Dampf wird mit einem Schlauch auf die Plattenränder geleitet und bringt dann das Eis zum Schmelzen.

Abb. 70.



Vielfach sind auch Mittel erprobt worden, um das Festfrieren der Brunnendeckel überhaupt zu verhindern. So sind die Deckel der eisernen Brunnenabdeckungen vor Eintritt des Frostwetters in Fett gelegt worden. Hierfür hat sich eine Mischung von zwei Teilen (alter unbrauchbarer) Isoliermasse, einem Teil Kabelfett, wie es zum Einziehen der Kabel Verwendung findet, und einem Teil Maurersand bewährt. Dieses Gemenge soll gleichzeitig das Eindringen von Wasser in die Brunnen und durch den beigefügten Sand ein Kippen der Deckplatten verhüten, wenn schwere Lastwagen über die Kanten hinwegfahren. Auch bei Granitplatten kann die Einbettung in Fett Vorteil bringen; es ist aber ein solches Material zu verwenden, das die Zementunterbettung der Platten nicht angreift.

Entwässerung der Kabelbrunnen.

Das Trockenhalten[1]) der Kabelbrunnen ist eine schwer zu lösende Aufgabe, die jedoch für die Sicherheit der Lötstellen und im Interesse der in den Brunnen beschäftigten Arbeiter soweit als irgend möglich durchzuführen ist. Es handelt sich hierbei weniger um Druckwasser aus dem Erdboden, da hiergegen die Brunnen ausreichend dicht hergestellt werden können, als vielmehr um das Straßenwasser von oben. Die in den Bürgersteigen unter-

---

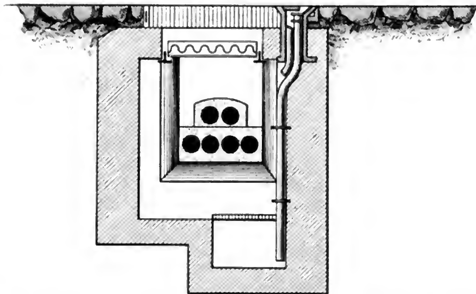
[1]) Zu vgl. die Ausführungen auf S. 181.

gebrachten Brunnen sind dieser Gefahr weniger ausgesetzt als die Fahrbahnbrunnen, weil diese, aus Verkehrsrücksichten möglichst in der Nähe der Bordschwelle liegenden Brunnen infolge der geneigten Oberfläche des Fahrdamms leicht verschlammen. Bei Bürgersteigbrunnen kann die Fernhaltung des Straßenwassers schon durch schmale Rillen neben der Zarge — ausgenommen an der dem Straßendamm zugekehrten Seite — wirksam erfolgen.

Wie oben (S. 185) erwähnt, können Schlammfänge gute Dienste tun, sie haben aber den Nachteil, daß sie regelmäßig in bestimmter Ordnung und außerdem jedesmal nach starken Regenfällen entleert werden müssen. Hierdurch entstehen in einem großen Kabelnetze hohe Kosten.

Recht bewährt hat es sich, an der tiefsten Stelle der etwas geneigten Brunnensohle, nach der hin das eingedrungene Wasser fließt, kastenförmige Vertiefungen mit Eisenrostabdeckung (sogenannte Wassersäcke oder Wassertöpfe, s. Abb. 71) anzulegen. Bei sandigem Boden empfiehlt es sich, in einen

Abb. 71.



solchen Wassertopf ein eisernes Sickerrohr einzusetzen, das zur Zurückhaltung des im Wasser vorhandenen Schlammes mit grobem Sand oder Kies angefüllt wird. Das Rohr soll mit dem untersten Ende außerhalb des Bereiches der Gasanlagen liegen. Bei geeigneten örtlichen Verhältnissen können die Brunnen auch direkt mit den Kanalisationsanlagen verbunden werden, dann muß aber durch ein Ventil dafür gesorgt werden, daß der Eintritt schädlicher Gase in die Brunnen sicher vermieden wird. Bei eisernen Brunnenabdeckungen werden auch wohl die inneren Rillen ihrer Auflager durch besondere Rohre mit den Wassersäcken verbunden, um das eintretende Straßenwasser von der eigentlichen Brunnensohle von vornherein möglichst fernzuhalten.

Soweit nicht selbsttätige Abflußeinrichtungen vorhanden sind, muß das eingedrungene Wasser auf irgendeine andere Weise entfernt werden. Praktisch brauchbar und für gewöhnlich vollständig ausreichend haben sich zu diesem Zweck einfache Handschöpfkellen aus Zinkblech bewährt. Pumpenanlagen sind im allgemeinen nicht erforderlich, doch werden bei solchen Brunnen, die häufig einer Überschwemmung ausgesetzt sind, besondere Vorrichtungen zweckmäßig sein, wie sie z. B. in **Abb. 71** nach der üblichen

Ausführungsform der R. T. V. dargestellt sind. In den Wassersack führt ein schmiedeeisernes Rohr, das oben mit Muffe und Gewinde versehen ist. Außerdem ist noch ein zweites, kürzeres Rohr zur Entlüftung vorhanden. Beide Rohre endigen in einer, in die Straßenoberfläche neben der Brunnenabdeckung eingelassenen eisernen Haube, in deren geriefeltem Deckel Luftlöcher angebracht sind. Zur Entfernung des im Brunnen vorhandenen Wassers dient eine Siphon- oder Wassertopfpumpe mit Saugstutzen, die mit dem Gewinde des Saugrohres verschraubt wird. Der Preis einer solchen einfachen Pumpe beträgt etwa 40 ℳ. Für den Einbau einer gemeinsamen Entwässerungs- und Entlüftungsanlage sind in Berlin rund 25 ℳ Mehrkosten entstanden. Wassersäcke ohne Rohrzuführung können leicht durch kolbenlose Saugpumpen mit Saugkorb entleert werden.

Lüftung der Kabelbrunnen.

Die Ansammlung von Gasen in den Kanalanlagen ist auf mancherlei Ursachen zurückzuführen. Den weitaus größten Anteil bilden die Beleuchtungsgase, die aus den Gasröhren entweder dauernd durch die Dichtungsstellen in kleinen Mengen oder plötzlich bei Rohrbrüchen in großen Massen ausströmen. Durch Beobachtung ist festgestellt worden, daß sich der Gefahrenbereich bei einem Gasrohrbruch im Winter oft erheblich weiter erstreckt als bei warmer Witterung, da der gefrorene Erdboden das Gas verhindert, sich in die Luft zu verbreiten. Andere brennbare Gase entstehen durch chemische Vorgänge im Erdboden, wie z. B. Schwefelwasserstoff und Gruben- oder Sumpfgas. Auch kann im Erdreich Wasserstoff durch Elektrolyse gebildet werden. Der durch ein beschädigtes Starkstromkabel austretende Strom zerlegt nämlich die stets ein wenig mit löslichen Salzen durchsetzte Erdfeuchtigkeit, so daß Wasserstoff frei wird, der dann in die Kabelkanäle gelangen kann. Ferner können bei Kurzschlüssen in Starkstromkabeln durch ungenügende Verbrennung der Isoliermaterialien entzündliche Gase entstehen. Jedes brennbare Gas bildet aber mit der atmosphärischen Luft eine Mischung, die explodieren kann, sobald sie mit einer Flamme oder einem elektrischen Funken in Berührung kommt. Wann eine Gasmischung sich selbst entzündet, hängt von dem Druck, unter dem sie steht, von ihrer Temperatur und von dem Grade der Vermischung ab. Die Gefahr, daß das Gasgemenge durch elektrische Funken entzündet wird, besteht, wenn Starkstromkabel sehr nahe an den Kabelkanälen verlegt und die Fugen in diesen Anlagen nicht zuverlässig genug gedichtet sind. Zur Vermeidung von Gasentzündungen ist daher der Abstand zwischen Starkstromkabeln und Kabelkanälen möglichst groß zu halten, denn es ist nicht ausgeschlossen, daß infolge der an den Unterbrechungsstellen einer beschädigten Starkstromleitung entstehenden Lichtbogen Explosionen in den Kabelkanälen verursacht werden. Derartige Vorkommnisse spielen bei Explosionen in den Kanalanlagen erfahrungsgemäß eine größere Rolle, als vielfach angenommen wird.

Die Verhütung des Eindringens gefährlicher Gasmengen in die Kabelbrunnen liegt in erster Linie in der sorgfältigen Abdichtung der ganzen Kanalanlage, namentlich bei Kreuzungen und Näherungen mit Gasrohren oder Starkstromkabeln. Ein weiteres Schutzmittel besteht in dem Abschluß sämtlicher Kanalöffnungen. Wenn auch ein vollständig gasdichter Abschluß

weder mit Holzstöpseln, noch mit einem anderen leicht verwendbaren und billigen Material zu erreichen ist, so hat ein solcher einfacher Abschluß doch wenigstens den Vorteil, daß eine etwaige Entflammung voraussichtlich nicht durch die Öffnungen der Kanalrohre weiter greift. Darum werden bei der R. T. V. sämtliche freie Kanalöffnungen der Einzelrohre in den Brunnen mit Holzstöpseln abgeschlossen.

Durch diese Maßnahme wird gleichzeitig das Eindringen von Ratten in die Brunnen und in die Anschlußrohre zu den Gebäuden verhindert.

Wenn also in der Praxis ohne unverhältnismäßig hohe Kosten weder die Entstehung der Gasgefahr, noch das Eindringen der Gase in die Kanalanlagen vermieden werden kann, so muß doch wenigstens versucht werden, diese Gefahr nach Möglichkeit zu vermindern. Ein geeignetes Mittel hierzu ist die Ventilation der Kabelbrunnen. Diese kann natürlich oder künstlich sein.

Die natürliche Entlüftung besteht in dem ständigen Luftaustausch zwischen den Kabelbrunnen und der äußeren Atmosphäre durch die Fugen oder Öffnungen der Brunnenabdeckungen. Da jedoch diese Öffnungen durch Straßenschmutz oder Eisbildung verstopft sein können, so ist diese Art von Ventilation immerhin unsicher, zumal auch schwerere Gase, wie die gefährliche Kohlensäure, auf diese Weise nicht entweichen. Die Durchlochungen der Brunnendeckel können ferner durch Ausströmen schlechter oder übelriechender Gase Belästigungen für das Publikum mit sich bringen, auch kann durch fortgeworfene glimmende Streichhölzer usw. eine Entzündung der entweichenden Gase geradezu herbeigeführt werden. Zugunsten solcher natürlichen Ventilation ist aber anzuführen, daß alle künstlichen Entlüftungen, sofern sie überhaupt einen sicheren Erfolg haben sollen, außerordentlich kostspielig sind. Aus diesem Grunde hat man in Amerika in letzter Zeit von allen anderen Maßnahmen als der Durchlochung der Abdeckungen vollständig abgesehen. Die Erfahrungen der Praxis haben dort zu der Überzeugung geführt, daß eine solche Vorkehrung neben der möglichst gasdichten Herstellung der ganzen Kanalanlage, abgesehen von besonderen Zufällen, einen ausreichenden Schutz gewährt.

Zur künstlichen Ventilation sind vier verschiedene Systeme vorgeschlagen worden:

1. Das einfachste, ohne besondere Einrichtungen anzuwendende Verfahren besteht in einer regelmäßig wiederkehrenden Öffnung der Kabelbrunnen und damit der Schaffung eines hinreichenden Durchzuges durch die Kanalrohre. Dieses Verfahren wird ganz allgemein von der R. T. V. befolgt. Es hat den Vorteil der Ersparung von Kosten für besondere Rohr- und Maschinenanlagen, ist aber andererseits mit dem sämtlichen nicht ständig wirkenden Einrichtungen anhaftenden Nachteil verbunden, daß zwar die gerade zur Zeit der Lüftung in den Brunnen vorhandenen Gasmengen beseitigt werden können, daß aber keine Gewähr dafür vorhanden ist, daß sich nicht schon sehr bald nachher wieder gefährliche Gase anhäufen. Dazu kommt noch in Betracht, daß ein vollkommener Austausch eingedrungenen Gases gegen reine Luft wirksam nur bei bedeutenden Höhenunterschieden zwischen den obersten und untersten Punkten der Entlüftungsrohre, d. h. in diesem Fall der Kanal-

rohre, stattfinden würde, und daß schwere Gase auf diese Weise überhaupt kaum entfernt werden können. Es ist zur besseren Ableitung der Gase weiter der Vorschlag gemacht worden, in die Brunnen einfache Lüftungsrohre mit hoch gelegenem Auspuff zu bringen; die Hochführung solcher Rohre an den Gebäuden könnte zwar eine bessere Wirkung erzielen, sie würde jedoch wahrscheinlich von vornherein an dem berechtigten Widerspruch der Hausbesitzer scheitern. Ferner ist die Schwierigkeit des Lüftens im Winter bei festgefrorenen Abdeckungen zu berücksichtigen. Auch die Kosten der regelmäßigen zwei- oder dreimonatlichen Lüftungen sind in den großen Fernsprechnetzen ganz bedeutend. Andererseits kann aber nicht gesagt werden, daß diese Mittel unrentabel angelegt werden, denn mit dem Lüften gehen die notwendige regelmäßige Besichtigung und Reinigung der Brunnen, sowie die Beseitigung sonst entstandener Mängel Hand in Hand. Man wird also dieses System der gleichzeitigen Reinigung und Lüftung auch hinsichtlich letzterer als recht zweckmäßig bezeichnen können. Es muß jedoch stets berücksichtigt werden, daß die periodische Lüftung ein durchaus sicheres Mittel nicht darstellt, daß ihre Wirkung vielmehr häufig vom Zufall abhängig ist.

2. Ein zweiter Weg zur künstlichen Entlüftung besteht in der Einrichtung von Standrohren im Freien in der Nähe der Brunnen. Dieses geschieht in der Weise, daß durch zwei mit den Brunnen verbundene Rohre mit verschiedener Höhe ihrer äußeren Mündungen ein dauernder Luftstrom unterhalten wird, der die Ansammlung gefährlicher Gasmengen verhüten soll. Die Rohre wirken gewissermaßen als Schornstein, erzeugen also eine geringe Luftbewegung im Brunnen und können infolgedessen auch in gewissem Umfange den Eintritt der Gase aus den Kanälen in die Brunnen zur Ableitung an die freie Luft veranlassen. Diese Konstruktion ist verhältnismäßig billig und einfach in ihrer Anlage und Unterhaltung, sie ist jedoch aus Verkehrs-, Gesundheits- und Schönheitsrücksichten nicht beliebt. Das Verfahren ist auch nicht geeignet, größere, plötzlich eintretende Gasanhäufungen sicher und schnell zu beseitigen.

3. Eine andere Möglichkeit soll die Einrichtung von Zentrallüftungsanlagen mit durch alle Brunnen verlaufenden Ventilationsrohren bieten. Die aus Gebläsen periodisch oder ständig in Überdruck durch die Rohre strömende Luft würde an passend in den Brunnen anzulegenden Ausströmungsstellen einen Gegendruck gegen die in die Kanalanlage eindringenden Gase ausüben und so deren Eintritt möglichst schon von vornherein verhindern können. Umgekehrt kann auch mittels einer Ventilationsanlage durch die Rohre ein scharfer Luftzug zum Absaugen der angesammelten Gase erzeugt werden. Solche großen Lüftungsanlagen würden zwar voraussichtlich Erfolg haben, sie sind aber für diesen Zweck allein viel zu teuer, wenn sie nicht mit den in Abschnitt IX behandelten Einrichtungen zur Druckluftprüfung von Kabeln vereinigt werden können.

4. Ein neuer Vorschlag[1]) will in den Kanälen unter Anschluß an ein Starkstromnetz kleine ortsfeste Motoranlagen zur Entlüftung mittels geeigneter Zentrifugalventilatoren vorsehen. Die Maschinen sollen in kleinen

[1]) E. T. Z. 1909, Heft 3, H. Brick, Lüftung von Kabelanlagen mit Ventilatoren.

gemauerten Kammern neben passend gelegenen Brunnen untergebracht werden. Die Auspuffrohre sollen an den Gebäuden bis zum Dach hochgeführt und zum Schutz gegen Regen mit einer Kappe versehen, die Schalter in kleinen Kästen außerhalb der Brunnen untergebracht werden. Dieser Gedanke hat zunächst etwas bestechendes, da der Betrieb sich wahrscheinlich sehr einfach gestalten und die Unterhaltungskosten gering sein würden. Dagegen werden die ersten Anlagekosten recht erheblich sein. Schwierigkeiten äußerer Art werden zunächst durch den sicher zu erwartenden Widerstand der Hausbesitzer und Straßenpolizeibehörden gegen die Hochführung der Rohre und Unterbringung der Schalterkästen entstehen. Die Kosten und Erschwernisse der Herstellung solcher Zuführungen würden außerdem bei Fahrbahnbrunnen durch die notwendigen längeren Zuführungen in unerwünschtem Umfange wachsen. Im übrigen bestehen überhaupt Bedenken, ob durch einen solchen Ventilator die Luft auch tatsächlich ausreichend erneuert werden kann. Die Menge der aus jedem Kanalrohr zuströmenden Luft und die Geschwindigkeit der Luftbewegung hängen von der Länge und Weite der Rohrstränge ab. Dem Ventilator wird daher für die aus dem Brunnen beseitigte Luftmenge neue Luft voraussichtlich hauptsächlich durch die kürzeren und stärkeren Kanäle wieder zufließen, und es wird eine Luftbewegung in den anderen Kanälen nach dem Ventilator zu nur in geringerem Umfange stattfinden. Die bei solchen Anlagen bestehende Gefahr, daß durch die an den Motorbürsten entstehenden Funken eine Explosion der dieser Stelle etwa in größeren Mengen zuströmenden Gase verursacht werden kann, könnte durch sorgfältige Auswahl explosionssicherer Motoren — wie sie z. B. auch im Bergwerksbetriebe Verwendung finden — beseitigt werden. Voraussetzung für derartige Entlüftungseinrichtungen würde das dauernde Offenhalten sämtlicher Kanalrohre sein. Aber gerade das Verschließen mit Holzstöpseln hat die Gefahr der Rattenwanderung durch die Kanäle und des Versandens der Rohre bei stark abfallenden Kanälen beseitigt. Das jedesmalige Öffnen und Wiederverschließen der Rohre in den einzelnen Kabelbrunnen würde andererseits eine solche Ventilationsanlage von vornherein unrentabel machen.

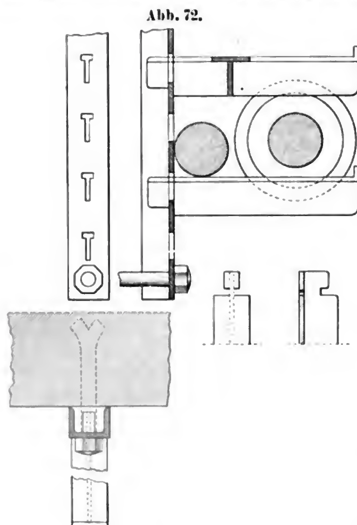
Es steht noch in Frage, in welcher Weise die Arbeiter sich schon selbst vor dem Betreten der Brunnen hinreichend gegen Gefahren durch vorhandene, aber nicht ohne weiteres bemerkbare Gasmengen schützen können. Leuchtgas, Schwefelwasserstoff und auch Kohlenoxydgas werden sich bei gefährlicher Menge durch Geruch kenntlich machen. Wasserstoffgas wird infolge seines geringen spezifischen Gewichtes ohne weiteres beim Öffnen der Brunnen restlos entweichen, dasselbe wird auch zum großen Teil mit den Leuchtgasen und anderen leichteren Gasgemischen geschehen. Kohlensäure und die schwereren Grubengase sammeln sich aber auf der Brunnensohle an; erstere ist nur gesundheitsgefährlich, die anderen sind jedoch gleichzeitig sehr explosiv. Die Feststellung des Vorhandenseins von Gasen durch chemische Reagenzien ist umständlich und daher auf der Strecke nicht durchführbar. Es besteht bei der R. T. V. die Vorschrift, daß die Kabelbrunnen unter keinen Umständen eher mit offenem Feuer oder Licht betreten werden sollen, bevor nicht mit der Davyschen Sicherheitslampe die Reinheit der Luft festgestellt worden ist. Ferner soll jeder Brunnen, unter gleichzeitiger Öffnung

der beiden benachbarten Brunnen, vor dem Betreten mindestens zehn Minuten lang gelüftet werden. Durch sorgfältige Beachtung solcher Vorsichtsmaßregeln werden sich im allgemeinen Gefahren ausreichend vermeiden lassen.

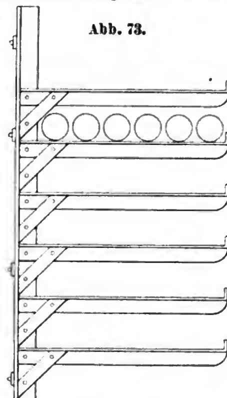
Kabelhalter.

In den größeren Brunnen besteht durch die Lagerung der zahlreichen Kabel und Lötstellen dicht neben- und übereinander die Möglichkeit einer Beschädigung bei Arbeiten in den Brunnen, außerdem werden eine unerwünschte Unübersichtlichkeit und sogar die Unmöglichkeit der Beseitigung von Kabelstörungen verursacht. Zur Vermeidung solcher Schwierigkeiten werden in den Brunnen mit Erfolg besondere Kabelhaltegestelle untergebracht. Diese können — wie es z. B. in England bei dem großen, in Abb. 69 dargestellten Brunnen erfolgt — mitten in dem Brunnen als rechteckige Gestelle zur etagenweisen Lagerung der Kabel aufgebaut sein. Die Regel bilden jedoch an den Seiten in die Brunnenwände eingelassene Eisenträger. Solche Träger werden entweder einzeln mit Steinschraube in dem Mauerwerk unwandelbar befestigt oder an längeren Schienen nach Bedarf einsetz- und auswechselbar angebracht. In **Abb. 72** ist eine Vorrichtung der R. T. V. nach dem zweiten System dargestellt; im Längsschnitte sind auch ein Kabel und eine Spleißstelle (Bleimuffe) zu ersehen. Diese Einrichtung hat sich gut bewährt. Das Gestell besteht aus einem senkrechten Träger aus U-Eisen, der an der Brunnenwand befestigt wird. In diesen senkrechten Träger, von dem mindestens zwei auf jeder Brunnenseite erforderlich werden, sind übereinander T-förmige Schlitze eingeschnitten, in welche die eigentlichen Kabelhalter wagerecht eingehakt werden; die Schlitze werden bei breiten Trägern auch wohl versetzt angebracht. Die eigentlichen Kabelhalter bestehen aus T-Eisen. Das eine Ende ist nach oben umgebogen, um ein Abgleiten der aufgelagerten Kabel zu vermeiden, das andere Ende ist in der aus der Abbildung ersichtlichen Weise derart bearbeitet, daß der Halter nach dem Einhaken sicher festgehalten wird. Die freie Länge dieser Eisen richtet sich nach der Zahl der Kabel. Da die Träger an der Ein-

Abb. 72.



kerbungsstelle geschwächt werden, empfiehlt es sich nicht, mehr als drei oder vier Kabel für einen Halter vorzusehen. Die Lötstellen sind so zu verteilen, daß sie gegeneinander versetzt liegen. Zu ihrer Unterstützung kann man noch schmale Flacheisenschienen auf die Träger aufschrauben, auch ist das Unterlegen von dünnen Platten unter die Kabel zweckmäßig, um ein Eindrücken der Bleimäntel durch die Trägerkanten fernzuhalten. Die größte Beanspruchung dieser Träger liegt an der ohnehin schon geschwächten Einspannstelle; um einem Verrosten und Brechen möglichst vorzubeugen, werden Eisenschiene und Halter mit bester Rostschutzfarbe gestrichen. Bei stärkerer Belastung wird man die Einkerbung besser durch eine etwas andere Form der Kabelhalter, wie sie z. B. **Abb. 73** zeigt, vermeiden. Die Kosten solcher Gestelle sind verhältnismäßig nicht erheblich und deren Nutzen reichlich wert. In kleinen Brunnen kann man von solchen Einrichtungen unbedenklich ganz absehen. Bei umfangreichen Anlagen in der Nähe der großen Vermittelungsämter, wo die übersichtliche Lagerung der Kabel ganz besonders wichtig ist, werden je nach den örtlichen Verhältnissen auch noch größere Tragevorrichtungen besonderer Konstruktion Verwendung zu finden haben; bei solchen Gestellen muß von vornherein die spätere Erweiterung der Kanalanlagen genügend berücksichtigt werden.


Abb. 73.

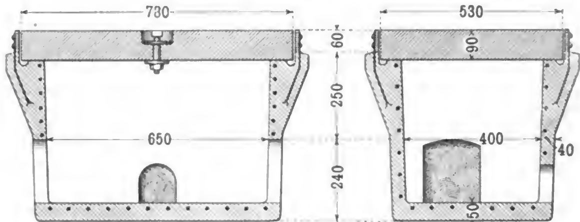
Abzweigkästen.

Da bei dem im Reichs-Telegraphengebiete üblichen System [1]) der Fernsprechkabelverteilung die Haupt- und Verteilungskabel grundsätzlich in verschiedenen, allerdings nach Möglichkeit übereinander anzuordnenden Kanälen geführt werden sollen, so wird auch in den Verteilungskanälen der Einbau besonderer Brunnen oder ähnlicher Vorrichtungen zum Einziehen und Verlöten der Kabel und zu ihrer Abzweigung in die einzelnen Grundstücke erforderlich. Hierfür sind die in **Abb. 74** dargestellten Abzweigkästen vorgesehen. Diese sind nach der Monierbauweise mit Eisendrahteinlagen konstruiert, im Lichten 40 × 65 cm weit und, einschließlich der Abdeckung, 50 cm tief bei 4 cm starker Wandung und 5 cm-Bodenplatte. Die kurzen Seitenwände besitzen die zur Aufnahme der Ein- und Zweilochzementformstücke passenden Öffnungen. Ebenso ist die eine Längswand mit einer Öffnung versehen zur Aufnahme eines Einlochformstückes oder Eisenrohres, das bis zu einer geeigneten Stelle des betreffenden Grundstückes geführt wird und zur Aufnahme des abgezweigten Verteilungskabels dient. Auf dem oberen Rande des Kastens ruht die Abdeckung; diese ist, je nach den örtlichen Verhältnissen, eine mit Aufhebevorrichtung versehene Monier- oder

[1]) Zu vgl. Abb. 41 und 43a.

Granitplatte. Die Kastenwand ist mit einer Rinne und mit trichterförmigen Auslaßöffnungen versehen, um das Eindringen des Straßenwassers zu verhindern, außerdem erhält der Boden eine geringe Neigung und ein Sickerloch. Die Abzweigkästen und ihre Abdeckungen sollen so konstruiert sein, daß sie

Abb. 74.



einen auf den Deckel oder unmittelbar neben dem Kasten ausgeübten Druck von 4000 kg ohne Beschädigung aushalten. Wird der Einbau der Monierkästen in den Bürgersteig in einzelnen Fällen unmöglich oder von den städti-

Abb. 75.



schen Verwaltungen nicht gestattet, so können auch aus Ziegelsteinen aufgemauerte oder eiserne Abzweigkästen derselben Abmessungen verwendet werden. In letzterem Falle ist eine etwaige Starkstromgefahr zu berücksichtigen.

Bei der Neuanlage eines Verteilungskanals wird im allgemeinen von vornherein vor jedes bebaute Grundstück, ohne Rücksicht darauf, ob in das-

selbe auch schon Fernsprechleitungen eingeführt sind, ein Abzweigkasten in den Kanal eingebaut. Die verhältnismäßig geringen Mehrkosten werden durch Wegfall späterer kostspieliger Straßenaufbrüche aus Anlaß von Erweiterungen aufgewogen. Der Einbau eines Abzweigkastens in einen Verteilungskanal ist aus **Abb. 75** zu sehen. Können die Verteilungskanäle mit etwa 50 cm Unterkante (s. S. 165, Anm. 1) eingebaut werden, so werden Kästen mit festem Boden benutzt. Müssen die Kanäle tiefer eingebettet werden, so gelangen Kästen mit losem Boden zur Verwendung, die Höhenunterschiede werden alsdann durch Aufmauerung zwischen Boden- und Kastenrahmen ausgeglichen. Erfolgt der Aufbau auf Zementhauptkanälen, so wird der Boden überhaupt fortgelassen, weil in diesem Falle die oberste Kanalplatte als Boden dient; etwaige Abgleichungen in der Höhe oder Breite werden mit Beton oder Ziegelmauerwerk bewirkt.

Kosten der Kabelkanalanlagen.

Die Kosten der Kabelkanalanlagen (einschließlich der Kabelbrunnen) sind einmalige und fortlaufende. Die ersten Anlagekosten sind bei gleichem Material annähernd proportional der Länge der Kanäle und der Zahl der Öffnungen. Für letztere gilt dieses jedoch nicht in vollem Umfange, da einzelne Kostenanteile unabhängig von der Kanalstärke sind, andere dagegen wieder wesentlich durch dieselben bedingt werden. Zunächst können die Grab- und Pflasterarbeiten nur in beschränktem Umfange proportional dem Kanalquerschnitte angesetzt werden, da mit diesen Arbeiten unter einen gewissen Umfang selbst bei nur einem einzigen Rohre nicht gegangen werden kann; diese Arbeiten sind auch abhängig von dem Profil des Kanals, d. h. von der größeren Breiten- oder Tiefenausdehnung. Ebenso sind die Brunnenkosten nicht zu gleichen Anteilen für jedes Rohr in Ansatz zu bringen. Dagegen sind die Aufwendungen für die Kabelrohre selbst und für die eigentlichen Verlegungsarbeiten ausschließlich durch den größeren oder geringeren Umfang des Kanals bedingt. Die für die Vorbereitungsarbeiten, für Leitung, Verkehrsschutz und Bewachung notwendigen Mittel werden andererseits für gewöhnlich durch die Größe des Kanals wenig beeinflußt.

Für die einmaligen Kosten kommen folgende Punkte in Betracht:

1. Die Kabelrohre oder Formstücke selbst, einschließlich ihres Transportes.
2. Der Erdaushub in cbm, einschließlich Abfuhr der durch die Kanäle verdrängten Erdmassen und provisorischer Wiederherstellung der Straßenoberfläche.
3. Die Beseitigung von Hindernissen.
4. Die Pflasterung in qm, einschließlich Ersatzes beschädigten oder verloren gegangenen Materials, bedingt durch Breite und Länge des Grabens und Art der Pflasterung.
5. Die Verlegung und etwaige Unterbettung der Kanäle, abhängig von Größe, Gewicht und Zahl der einzelnen Werkstücke; im allgemeinen teurer bei Einzelrohrverlegung.
6. Die Kabelbrunnen.
7. Die Vorbereitungs-, Aufsichts- und Abnahmekosten.

Die fortlaufenden Kosten entstehen durch die notwendigen Unterhaltungsarbeiten und die Abschreibung der Anlagekosten, sie stellen jedoch nur hinsichtlich der ersteren eine tatsächliche Ausgabe, hinsichtlich der zweiten dagegen eine Wertverminderung dar. Diese gesamten Kosten sind für sorgfältig angelegte Kanalanlagen in einem Jahre nur gering, sie werden von den großen amerikanischen Gesellschaften in ihren jährlichen Voranschlägen im allgemeinen mit höchstens 5 v. H. der Anlagekosten eingesetzt. Besonders die Amortisationskosten sind sehr niedrig. Die Abschreibung stellt denjenigen Prozentsatz der ersten Anlagekosten dar, der diese Kosten in der Gesamtheit nach Ablauf der voraussichtlichen Lebensdauer wieder decken soll; es fehlen jedoch zu sicheren Ansätzen bisher genügende Erfahrungen. Als Unterhaltungskosten wird man diejenigen Mittel bezeichnen können, die erforderlich sind, um eine vorhandene Anlage in gebrauchsfähigem Zustande zu erhalten. Zunächst könnte es scheinen, als ob die fest und sicher im Erdboden untergebrachten Kabelkanalanlagen überhaupt keine Unterhaltungskosten notwendig machten. Jedoch die Beaufsichtigung und Wartung, die Lüftung und Reinigung, der Ersatz zertrümmerter Brunnendeckel, die Nachregulierung von gesacktem Straßenpflaster, die Beschädigung durch Grabarbeiten, Wasser- und Gasrohrbrüche und durch Starkstromkurzschlüsse, alle solche und noch manche andere einzelnen Arbeiten bringen in der Gesamtheit schließlich eine nicht unerhebliche Menge von Kosten mit sich. Der anschlagmäßig festzusetzende Betrag ist aber reine Erfahrungs- und Schätzungssache und wird je nach den örtlichen Verhältnissen und der ganzen Konstruktion der Anlage sehr verschieden zu bemessen sein.

Sechster Abschnitt.

Die Verlegung der Kabel.

Verlegung von Erdkabeln.

Die Arbeit besteht aus drei Teilen: dem Ausheben des Kabelgrabens, der eigentlichen Verlegung der Kabel, einschließlich Anbringung etwaiger Schutzvorrichtungen, und dem Wiederverfüllen des Grabens mit Befestigung der Straßenoberfläche.

Die Richtungslinie des Kabelgrabens wird bis auf die durch vorher unbekannte Verhältnisse des Untergrundes notwendigen Abweichungen bei der Auskundung festgelegt. Die Tiefe des Grabens soll bei der R. T. V. im allgemeinen, soweit nicht örtliche Schwierigkeiten etwas anderes bedingen, für Faserstoff- und Papierkabel 60 bis 75 cm, bei den gegen die Einwirkungen des atmosphärischen Sauerstoffes und der Wärme besonders empfindlichen Guttaperchakabeln 1 m betragen. Die Breite des Kabelgrabens hängt von der Zahl der Kabel ab, in der Regel beträgt sie am oberen Rande etwa 60 cm, auf der Sohle nicht weniger als 30 cm. Bei vorhandenen Hindernissen ist der Sohle eine sanft fallende Neigung zu geben, und zwar derart, daß die Kabel nach Möglichkeit unterhalb des den geradlinigen Verlauf störenden Objektes verlaufen, damit sie bei späteren Arbeiten an den fremden Anlagen nicht beschädigt werden.

Die eigentliche Verlegung der Erdkabel ist unter einfachen Verhältnissen keine besonders schwierige Arbeit, sie erfordert aber bei Vorhandensein von Hindernissen oft viel Sorgfalt und Umsicht. Man muß stets jeder Kleinigkeit Beobachtung schenken, damit das Kabel möglichst gegen chemische Einflüsse und Starkstromgefahren, gegen Erdbewegungen und gegen spätere Grabarbeiten genügend geschützt ist, zumal ein im verlegten Erdkabel entstehender Fehler umständlich gesucht werden muß und oft hohe Kosten verursacht. Die praktische Verlegung richtet sich nach der Kabellänge, den etwaigen Hindernissen, der Bodenbeschaffenheit, dem anliegenden Terrain, der Arbeiterzahl usw. Die einzelnen Teilstrecken der Kabel sind so lang als möglich zu bemessen, soweit es die örtlichen Verhältnisse und die Kabeltypen gestatten, da die Ersparung an Lötstellen eine Ersparnis an Kosten und unter Umständen auch den Fortfall mancher Betriebsschwierigkeiten bedeutet. Die Handhabung der schweren Kabeltrommeln wird aber schließlich kaum noch möglich und ist auch recht unwirtschaftlich; über 2,5 bis 3 Tonnen Gewicht wird nicht hinauszugehen sein.

Ist der Kabelgraben frei von Hindernissen und gestattet es die Straßenoberfläche, so ist es am zweckmäßigsten, den Kabelhaspel auf einen geeigneten

Kabelwagen[1]) zu bringen und das Kabel alsdann unter langsamer Fahrt neben dem Graben abzurollen und durch die in der Baugrube stehenden Arbeiter vorsichtig niederlegen zu lassen. Die Trommel muß hierbei mittels einer wagerecht durch ihre Öffnung gesteckten starken Achse leicht drehbar auf dem Wagen festgelegt sein; als Achsenunterlagen können feste Böcke oder auch Kopfwinden verwendet werden. Recht vorteilhaft ist eine einfache Bremsvorrichtung, durch die beim Abrollen des Kabels vorsichtig dafür gesorgt wird, daß sich in dem ablaufenden Ende weder Schlingen oder Stauchungen bilden, noch unzulässige Zugbeanspruchungen auftreten. Das Kabel darf nur in dem Maße vom Haspel ablaufen, wie es der Vorwärtsbewegung des Wagens entspricht. Ist die Verlegung in dieser Weise nicht angängig, so wird die Kabeltrommel am Anfang des betreffenden Grabenabschnittes drehbar aufgestellt. Das abrollende Kabel wird alsdann unter langsamer Drehung der Trommel von Arbeitern im Graben fortgetragen (nicht etwa geschleift) und unter den vorhandenen Hindernissen durchgezogen. Haupterfordernis ist hierbei eine möglichst große Arbeiterzahl, damit Knickungen oder sonstige Beschädigungen des Kabels sicher vermieden werden. In ähnlicher Weise kann in geeigneten Fällen das Kabel auch von der Mitte des Kabelgrabens aus nach zwei Seiten verlegt werden. An den Kabelverbindungsstellen sind die beiden Kabelenden zur Herstellung der Spleißstellen auf etwa 1,25 m nebeneinander niederzulegen.

Nach der Verlegung ist noch einmal zu prüfen, ob das Kabel überall gut gelagert und nicht etwa irgendwo besonderem Zug oder Druck ausgesetzt ist. Nach Anbringung der etwa notwendigen Schutzabdeckung[2]) der Kabel wird der Graben vorsichtig schichtweise wieder verfüllt; nur an den Lötstellen ist das Zuwerfen der Grube auszusetzen, bis die Spleißungen stattgefunden haben.

Um das Kabel später besser auffinden zu können, werden in geeigneten Zwischenräumen oberhalb des Kabellagers vielfach besondere Erkennungszeichen, z. B. Zementklötze mit gußeiserner Haube, in die Straßenoberfläche eingelassen. Die früher bei der R. T. V. meistens verwendeten kubischen Steine mit eingemeißeltem T haben sich als nicht genügend gesichert gegen Abnutzung und Verschleppung erwiesen.

Verlegung von Kabeln über Brücken und durch Tunnel.

Besondere Schwierigkeiten können sowohl für Erdkabel als auch für Kanallinien durch Flußläufe und Eisenbahndämme entstehen.

Da im allgemeinen die Verlegung von Flußkabeln wegen der höheren Kosten und der geringeren Betriebssicherheit stets nur als Notbehelf gewählt werden soll, wird man nach Möglichkeit die Kabellinien so einzurichten

---

[1]) Neuerdings werden seitens der R. T. V. diese Wagen vielfach von der Firma Wilh. Quante in Elberfeld als „Normalkabeltransportwagen" bezogen, die mit Hand- und Pferdedeichsel ausgestattet und in zwei Größen (I für alle Kabeltrommeln bis zum Durchmesser von 2,5 m und bis zur Breite von 1,4 m; II für Trommeln bis zu 2 m Durchmesser und 1,2 m Breite) geliefert werden. Die Bedienung dieser Wagen ist sehr einfach und kann von einem Manne ausgeführt werden. — [2]) Das Nähere wegen Schutzabdeckung der Erdkabel ist am Schluß dieses Abschnittes, S. 227 ff., erörtert.

suchen, daß zu ihrer Durchbringung vorhandene Brücken verwendet werden können. Handelt es sich um die Überführung von Erdkabeln, so ist zunächst dahin zu streben, diese Verlegungsart auch auf der Brücke beizubehalten. Das ist in der Regel bei steinernen Brücken mit Erdaufschüttung und Pflasterung ohne weiteres angängig, nur muß man sich hierbei meist mit einer geringeren Bettungstiefe begnügen; bei Guttaperchakabeln ist hierbei allerdings ganz besondere Vorsicht anzuwenden. Über eiserne Brücken wird eine solche einfache Kabelführung nicht möglich, es bleibt daher hier, wie unter Umständen auch an anderen Brücken, nichts anderes übrig, als die Kabel in besonders konstruierten und gut abgedichteten hölzernen oder eisernen Kästen unterhalb oder an den Seiten des Brückenkörpers durchzubringen. Die Schwierigkeiten und Kosten sind oft nicht gering, zumal nicht nur rein technische Bedenken, sondern auch Gründe äußerlicher Art mitsprechen, denn es wird mit gutem Recht von den Brückenbaubehörden ernstlich darauf gehalten, daß das schöne Aussehen der vielfach künstlerisch ausgeführten Brücken durch fremde Anlagen nicht beeinträchtigt wird. Die Art, Größe und Befestigung der Kabelkästen können im Einzelfalle meistens nur im Einvernehmen mit den betreffenden Behörden festgelegt werden, zumal diese auch den verfügbaren Platz anweisen müssen. Es wird dabei aber gleich von vornherein durch Wahl eines ausreichend geräumigen Kastens die etwaige spätere Erweiterung der Kabelanlage zu berücksichtigen sein. Die nachträgliche Anbringung der Kästen ist je nach Länge und Höhe der Brücken oft mit großen Schwierigkeiten verbunden und daher in solchen Fällen nur durch hierfür besonders geeignete Unternehmer auszuführen. Auch die Durchbringung der Kabel durch die Widerlager der Brücken an den Uferbefestigungen bringt manche weitere Schwierigkeiten. Ebenso ist das Einlegen der Kabel in die Kabelkästen oft recht umständlich, kostspielig und selbst gefahrvoll. Aus diesem Grunde wird es bei längeren oder höheren Brücken häufig zweckmäßiger sein, von den eigentlichen Kabelkästen nach dem Einbettungssystem ganz abzusehen und dafür einen eisernen Kabelrohrstrang zum Einziehen der Kabel anzubringen. Eine solche Maßnahme erfordert den Einbau je eines Kabelbrunnens vor den Brückenwiderlagern; dieses wird ebenfalls notwendig, wenn die Brückenüberführung einen Teil eines fortlaufenden Kabelkanals bildet.

Bei dieser Gelegenheit sei noch ganz besonders auf die Notwendigkeit hingewiesen, daß die örtlichen Telegraphenbehörden sich stets rechtzeitig von dem beabsichtigten Bau neuer oder von dem Umbau vorhandener Brücken Kenntnis verschaffen, damit die Anbringung von Kabelrohren im Einvernehmen mit den Brückenbauverwaltungen möglichst bereits beim Bau der Brücken erfolgt; hierdurch können später viele Mühen und Kosten erspart werden

Beim Durchschreiten von Tunneln werden die Kabel entweder im Boden der Tunnelsohle eingebettet oder an den Wänden entlang geführt. Für die Verlegung und den Bestand der Kabel ist die erstere Ausführung zweckmäßiger, dagegen kann bei etwaigen Fehlerbeseitigungen die oberirdische Durchführung günstiger sein. Ob die Kabel g. F. unmittelbar in den Erdboden oder in Kanäle verlegt werden, richtet sich nach den örtlichen Ver-

hältnissen, jedenfalls ist aber die Einbettung möglichst nahe an der Tunnelwand auszuführen, um mit den Bahnanlagen so wenig als möglich in Berührung zu kommen. An den Tunnelwandungen können die Kabel entweder in besonderen Kabelkästen oder in ausgehauenen Nuten der Steinmauern ausgelegt werden. Hierbei muß aber darauf Rücksicht genommen werden, daß durch den Rauch und Auswurf der Lokomotiven und durch die in den Tunneln namentlich beim Durchfahren der Züge herrschende höhere Temperatur eine Gefahr für die Kabelanlagen entsteht, wenn nicht durch ausreichende Vorsichtsmaßregeln, namentlich bei Guttaperchakabeln, für geschützte Lagerung der Kabel gesorgt wird.

Die Kabelrinnen werden bei der R. T. V. in der Regel aus zubereitetem, kräftigem Kiefernholz in Einzellängen von etwa 4 m hergestellt, durch untergelegte Lattenstücke mit Holzschrauben zu einem fortlaufenden Ganzen verbunden und in Höhe von 1,5 bis 2 m mit Bankeisen derart an der Tunnelwand befestigt, daß zwischen Mauer und Kastenrückwand ein geringer Zwischenraum zum Abfließen der sich an den Wänden bildenden Feuchtigkeit verbleibt. Der Kasten ist gehörig mit Ölfarbe zu streichen und fest zu verschließen. Durch kurze und trockene Tunnel können die Kabel auch wohl als Luftkabel (mit Bewehrung) auf einfachen Unterstützungen an der Mauerwand geführt werden.

Verlegung von Flußkabeln.

Die Verlegung von Flußkabeln ist im allgemeinen die schwierigste von allen Kabelarbeiten und in ihrer besonderen Ausführung lediglich von den örtlichen Verhältnissen abhängig. Diese Arbeit erfordert sehr viel Vorsicht und Erfahrung. Ihre Schwierigkeiten und Kosten wachsen in steigendem Verhältnis mit der Breite des zu durchquerenden Gewässers und dem Umfange des Kabels, mit der Stärke der Strömung und den Erschwernissen durch Witterungsverhältnisse, so daß z. B. bei Überschreitung größerer Seen oder breiter Flußmündungen die Arbeiten geradezu den eigentlichen Unterseekabelverlegungen entsprechend vorzunehmen sind. Aus diesen Gründen vermeidet man die Verwendung von Flußkabeln nach Möglichkeit, sie wird aber andererseits selbst bei vorhandenen Brücken erforderlich, wenn es sich um solche mit Durchlaßöffnung oder um Schiffsbrücken handelt.

Von großer Wichtigkeit ist zunächst die Auswahl der Durchquerungsstelle des Flußbettes. Felsiger Untergrund, Ankerplätze von Schiffen und durch Eisgang besonders gefährdete Stellen sollen vermieden werden, im übrigen sind die ständig unter Aufsicht stehenden Stellen, z. B. Fährplätze, am besten geeignet. Zur Verhütung von Beschädigungen gilt ferner als Regel, daß das Kabel bei nicht gestautem Wasser stromabwärts von etwa vorhandenen Brücken, bei gestautem Wasser dagegen stromaufwärts der Schleuse oder des Wehrs verlegt wird. Im ersteren Falle kann das Kabel durch die Strömung nicht gegen die Brückenpfeiler gedrängt und dort gescheuert werden, im zweiten Falle versandet das Kabel leichter. Die Flußkabel müssen sich stets noch eine Strecke in das Uferterrain hinein erstrecken, um genügend fest zu liegen und eine gute Verbindung mit den weiterführenden ober- oder unterirdischen Linien zu gewährleisten. Die zur

Verbindung dienenden Kabelüberführungssäulen [1]) müssen jedenfalls in möglichst trockenem Boden außerhalb des Überschwemmungsgebietes stehen.

Die Länge des Flußkabels ist nicht nur durch die gerade Linie zwischen den Einlaßstellen bestimmt, sondern richtet sich auch nach dem Profil und der Beschaffenheit des Untergrundes, außerdem sind noch je nach der Stärke der Strömung bis zu 5 v.H. für Abtrieb hinzuzurechnen. Soweit irgend angängig, ist nur eine einzige Kabellänge zu verwenden, um Lötstellen zu vermeiden.

Die Verlegung der Flußkabel erfolgt in einfachen Fällen derart, daß man das Kabel von der am Ufer aufgestellten Trommel langsam ablaufen und an einem Seile durch Arbeiter, die in entsprechenden Entfernungen voneinander — etwa auf 15 bis 30 m, je nach der Stärke der Strömung — oberhalb der beabsichtigten Kabellage auf verankerten Booten aufgestellt sind, auf das andere Ufer ziehen läßt und dann von den Fahrzeugen aus in das Flußbett versenkt. Ob eine besondere Kabelrinne im Flußbett auszubaggern oder ob das Kabel etwa noch mit festem Material zu bedecken ist, richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit und Tiefe des Flußbettes, sowie nach der Strömung und dem Verkehr.

Diese einfache Art der Verlegung mittels einer von Ufer zu Ufer gebildeten Brücke aus Fahrzeugen ist aber nur in Gewässern von mäßiger Breite und nicht hoher Wassergeschwindigkeit, sowie bei schwachem Schiffsverkehr und auch in der Regel nur dann anwendbar, wenn das Kabel nicht mit eisernen Flußkabelmuffen zu umkleiden ist. In den übrigen Fällen muß das Kabel auf ein geeignetes Fahrzeug gebracht werden, während dessen Überfahrt das Kabel in das Wasser abgerollt wird. Der zu einer solchen Auslegung erforderliche Schiffskörper muß den für die Unterbringung des Kabelhaspels, der Drehvorrichtung und der Bemannung erforderlichen Raum enthalten und genügend fest und auch gesichert gegen Gleichgewichtsschwankungen sein. Steht zur Fortbewegung des Kabelbootes kein Dampfer zur Verfügung, oder ist dieser wegen geringer Strömung des Flusses überhaupt nicht erforderlich, so ist wieder, wenn angängig, in der Richtung der beabsichtigten Kabeltrace über verankerte Boote ein Seil zu spannen. An diesem entlang als Führungslinie wird dann das Kabelboot an das andere Ufer gerudert, damit es so wenig als möglich vom Strome abgetrieben wird. Sobald ein genügend langes Stück des Kabels versenkt ist, dreht sich die Trommel infolge der Fortbewegung des Fahrzeuges ohne weitere Nachhilfe, es muß aber die Umlaufgeschwindigkeit der Trommel mit der Fahrgeschwindigkeit übereinstimmen, da das Kabel glatt auf dem Boden des Gewässers liegen soll. Bei zu schnellem Ablaufen bildet das Kabel Schlingen, die — abgesehen von unnötigem Materialverbrauch — zu Beschädigungen des Kabels Anlaß geben können; es wird dann, wie man sagt, mit Verlust verlegt. Aber auch das zu langsame Ablaufen kann durch unzulässige Zugbeanspruchungen des Kabels Gefahren mit sich bringen. Aus diesem Grunde ist beim Bremsen der Trommel mit großer Vorsicht zu verfahren. Unter allen Umständen muß Sorge dafür getragen werden, daß bei der Auslegung ein Aufdrehen der Schutzdrähte des Kabels vermieden wird, weil dadurch ungleiche Spannungen hervorgerufen werden, die zu Beschädigungen des Kabels führen können.

---

[1]) Näheres s. Abschnitt VIII.

Ist nach den örtlichen Verhältnissen zum größeren Schutze die Anbringung von Flußkabelmuffen erforderlich, so sind diese an dem vom Haspel ablaufenden Kabel vorsichtig anzubringen. Die zweiteiligen eisernen Flußkabelmuffen sind, der Größe der Flußkabel entsprechend, kräftig gebaut und mit Kugelgelenken versehen. **Abb. 76** zeigt eine solche bei der R. T. V. gebräuchliche Muffe. Bei recht geringer Flußbreite können diese Schutzmuffen auch wohl nach der Verlegung, unter vorsichtigem Heben und Unterfahren des Kabels mit einem Nachen, nachträglich angebracht werden.

Abb. 76.



Bei besonders großen Kabellängen wird die unmittelbare Auslegung des Kabels vom Haspel wegen dessen Größe und dem hohen Gewicht des Kabels umständlich und kostspielig. In solchen Fällen kann es zweckmäßig sein, das Kabel vorher abzuhaspeln und in Schleifen auf dem Boden des Bootes

Abb. 77.



oder im Schiffsraume zu lagern. Zum glatten Ablauf des Kabels sind dann besondere Vorrichtungen zu treffen, so daß namentlich kurze Biegungen des Kabels sicher vermieden werden. **Abb. 77** stellt eine solche Kabelverlegung über die Alster in Hamburg[1]) dar. Das Legeschiff war hier mit kurzer Kette hinten an einem Schleppdampfer befestigt. Die Verbindung des Schleppers mit der Längsseite des Kabelbootes ist weniger zweckmäßig, weil beim Vorausfahren des Dampfers die Fahrtrichtung besser eingehalten werden kann.

[1]) Näheres s. Archiv für Post und Telegr., Berlin 1906, S. 65.

An den Ufern sind die Flußkabel am besten in der Weise festzulegen und zu sichern, daß sie in der Verlängerung ihrer Richtungslinie auf mindestens 10 bis 15 m fest eingegraben werden. Die Reibung gegen den Erdboden gibt dann genügenden Halt und macht weitere Vorrichtungen entbehrlich. Nur bei steilen Uferböschungen, bei Hochführung an Ufermauern oder bei nicht hinreichend festem Boden sind je nach den örtlichen Verhältnissen noch weitere besondere Maßnahmen zur Festlegung der Kabel zu treffen.

Die Verlegung von Flußkabeln neben Brücken ist erheblich einfacher. Das Kabel wird in geeigneter Weise der Länge nach auf der betreffenden Außenseite der Brückenbahn ausgelegt, unter Umständen zunächst festgebunden und dann vorsichtig mittels kräftiger Taue in das Wasser hinabgelassen. In ähnlicher Weise kann man in eiligen Fällen im Winter bei genügend fester Eisdecke die Kabel in die durch das Eis gehauenen Rinnen einlegen.

Verlegung von Luftkabeln.

Die Verwendung von Luftkabeln ist in Deutschland und in den meisten anderen Ländern im allgemeinen auf Ausnahmefälle beschränkt, dagegen wird in England, in Schweden und namentlich in Amerika von dieser Art der Kabelführung in großem Umfange Gebrauch gemacht. Die oberirdisch an Gestängen befestigten Kabel sind weniger gegen Beschädigungen der verschiedensten Art geschützt, als die gesichert im Erdboden verlegten Kabel. Stürme und Schneeverwehungen können durch Umbruch der Gestänge die ganze Kabellinie außer Betrieb setzen. Außerdem beeinträchtigen die an den Stangen hängenden Kabel das ganze Straßenbild recht erheblich. Andererseits ist das Aufbringen der Luftkabel einfacher als die Verlegung von Erdkabeln (einschließlich der Erdarbeiten), es ist auch, da es sich in der Regel um Mitbenutzung bereits vorhandener Gestänge für oberirdische Freileitungen handelt, bedeutend billiger als die Verwendung von Kabelkanälen. Trotzdem wird im allgemeinen aus den oben genannten Gründen von Luftkabeln auf längeren Strecken erst dann Gebrauch gemacht, wenn nicht mehr genügend oberirdische Freileitungen angebracht werden können, und wenn die sonstige Inanspruchnahme des Straßenuntergrundes die Verlegung von Kabeln nicht mehr zuläßt. Dagegen stehen der gelegentlichen Verwendung kürzerer Luftkabel zum Überschreiten von Grundstücken oder Straßen keine Bedenken entgegen.

Zunächst ist zu berücksichtigen, daß die Belastung der Gestänge durch Luftkabel, namentlich bei Anbringung mehrerer Kabel, bedeutend erhöht und ihre Festigkeit dadurch erheblich mehr in Anspruch genommen wird; unter Umständen sind daher die einzelnen Gestänge zunächst zu verstärken und auch die Stangenintervalle nach Bedarf zu verringern.

Ein zweites Erfordernis ist die Aufbringung und sichere Festlegung eines ausreichend starken Trageseils für jedes einzelne Luftkabel. Hierzu verwendet man entweder einzelne kräftige, verzinkte Stahldrähte oder aus solchen dünneren Drähten zusammengedrehte Seile; die Stärke und Festigkeit richten sich nach der verwendeten Kabeltype und der gegebenen Größe der Stangenabstände. Die Trageseile werden mit etwa 2 v. H. Durchhang gespannt.

Viel Mühe ist erforderlich gewesen, um in gleicher Weise praktische, einfache und sichere Vorrichtungen zum Befestigen der Seile an den hölzernen oder eisernen Gestängen zu gewinnen, namentlich wenn es sich um die Anbringung mehrerer Seile handelt. Die Ausführungen sind recht verschieden, je nach der Art des Gestänges und der Zahl der Kabel, sowie nach den im einzelnen gewonnenen Erfahrungen und persönlichen Anschauungen über die Zweckmäßigkeit der verschiedenartigen Konstruktionen. Die Befestigung der Kabel auf dem Kopf der Stützpunkte wird möglichst zu vermeiden sein, da sonst durch den beim Aufbringen der Kabel aufzuwendenden Zug eine unerwünschte Beanspruchung einzelner Gestänge erfolgen kann. Im allgemeinen hat sich für Luftkabel die Höhe von etwa 3 m über dem Erdboden als zweckmäßig erwiesen. Ebenso verschieden wie die Anbringung der Trageseile sind die Vorrichtungen zum Aufhängen der Kabel an diesen Seilen. Hierfür kommen in der Hauptsache mit Aufhängehaken versehene feste Schlingen aus imprägniertem Hanf oder aus Stahlgeflecht, Tragebänder aus kräftigen und genügend breiten Lederstreifen und hakenförmige Bandeisen in Betracht. Letztere werden z. B. in der in **Abb. 78** dargestellten Ausführung bei der R. T. V. verwendet. **Abb. 79** zeigt eine in Amerika[1]) vielfach übliche Aufhängevorrichtung.

Abb. 78.

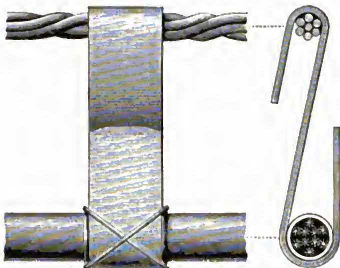
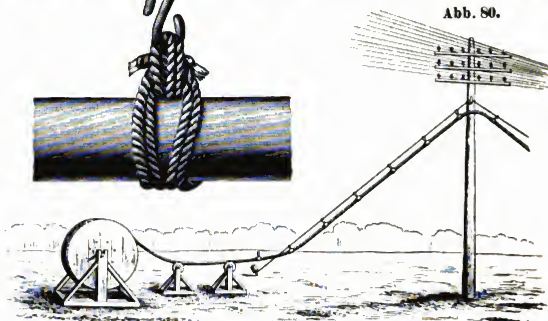


Abb. 79.



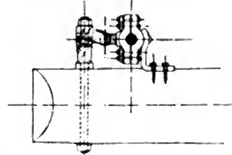
Abb. 80.



[1]) Nach Kempster B. Miller, S. 817.

Das Aufbringen der Luftkabel auf die Gestänge muß mit großer Sorgfalt geschehen, um jede Beschädigung und Verdrehung der Kabel zu vermeiden und die Festigkeit der Gestänge nicht zu beeinträchtigen. In Amerika haben sich im Laufe der Zeit zwei verschiedene Methoden als praktisch herausgebildet.

Die erste, im allgemeinen auch bei der R. T. V. angewendete Art ist die folgende: An einem Ende der Linie wird das Trageseil in gleichbleibender Richtung durch einen Anker aus gleichem Material verlängert und im Erdboden sicher befestigt; **Abb. 80** stellt eine derartige Anordnung dar. Am anderen Ende des der Länge des Kabelstückes entsprechenden Linienabschnittes, bei stärkeren Kurven auch schon in kürzerem Abstande, wird eine Kabelwinde aufgestellt, die mittels eines Zugseiles das auf der Trommel befindliche Kabel vom Anfangspunkt aus über die einzelnen Stützpunkte hinwegzieht. Beim Abrollen werden an das Kabel auf etwa je 1 m Abstand die Tragevorrichtungen (Bänder, Haken usw.) festgebunden und gleichzeitig auf den Anker geschoben. Diese Träger gleiten alsdann beim Vorwärtsziehen über das Trageseil hinweg und halten das Kabel in der richtigen Höhe. Jeder einzelne Stützpunkt wird mit einem Mann besetzt, der die Tragevorrichtungen vor dem Gestänge vom Seil abnimmt und gleich dahinter wieder aufhängt, damit das Kabel ungehindert vorwärts gleiten kann. Je nach Bedarf sind die Endgestänge der Kabellinie vorher noch entsprechend zu verstärken. Die Schwierigkeit bei dieser Art der Arbeitsausführung liegt vor allem in der Reibung der Kabelträger bei ihrem Fortgleiten über das Trageseil. Es können sich die Verschnürungen der Tragevorrichtungen am Kabel lösen oder die Träger dem Zuge nicht mehr folgen und sich an einer Stelle anhäufen, so daß das Kabel schließlich ohne Unterstützung weitergezogen wird.



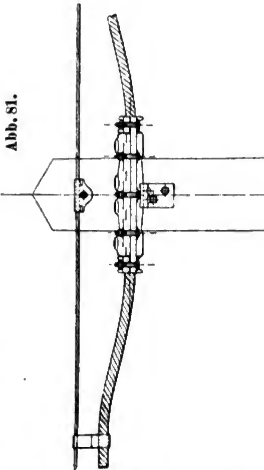


Abb. 81.

Die zweite Methode soll diese Unzuträglichkeiten vermeiden. Hierbei werden in geeigneten Abständen an dem Trageseil Gleitrollen mittels genügend weiter Bügel haltbar befestigt und das Kabel mit dem Zugseil durch die Bügel hindurch über diese Rollen gezogen. Die eigentlichen Kabelträger werden erst nachträglich angebracht und dann die Rollen abgenommen. Die

Aufbringung der Kabel erfolgt auf diese Weise einfacher, doch ist die Befestigung der Träger und Rollen, sowie die Wiederabnahme der letzteren im freien Felde zwischen zwei Gestängen etwas umständlich; man kann aber die Arbeiter auf den einzelnen Stützpunkten entbehren.

Bei kurzen Kabelstrecken und dünnen Kabeln kann man von der Benutzung einer Kabelwinde ganz absehen und das Kabel mittels eines Zugseiles durch einige Arbeiter auf das Gestänge ziehen lassen. Das Seil wird dabei von Stützpunkt zu Stützpunkt über geeignete Stützen gelegt, so daß stets nur mit der Seillänge eines Stützpunktzwischenraumes gezogen werden kann.

Die Spleißstellen der Luftkabel sind nur an den Gestängen anzufertigen und an ihnen auf passenden Unterlagen sicher zu lagern, wie **Abb. 81** zeigt.

Kabelwinden.

Das wichtigste Gerät zum Einziehen von Kabeln in die Kanäle ist die Kabelwinde. Ihre zweckmäßige Konstruktion und Anwendung gewährleisten in der Hauptsache die sichere Ausführung der Einzieharbeiten und bestimmen zum größten Teil die Höhe der hierfür aufzuwendenden Kosten.

Man unterscheidet zunächst zwischen Handwinden und Kraftwinden. Als Antriebskraft dient für erstere die Menschenkraft. Für letztere wird jegliche Art Kraftmaschinen verwendet, Dampfmaschinen, Elektromotoren und Verbrennungsmotoren.

Die allgemeinen Anforderungen an Kabelwinden kann man kurz folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Winde soll für die erforderlichen Zugleistungen mit einem Minimum von Kraftaufwendung arbeiten, dabei soll die Antriebskraft mit möglichst wenig Zwischengliedern auf das Zugseil wirken, so daß der Wirkungsgrad tunlichst hoch gehalten wird.
2. Die Winde soll nicht unverhältnismäßig schwer und muß möglichst leicht und ohne Beschädigung transportabel, sowie von solchen Abmessungen sein, daß ihrer Verwendung an beliebigem Orte keine besondere Schwierigkeiten entgegenstehen.
3. Die Inbetriebsetzung darf nach Ankunft am Verwendungsorte nicht längere Zeit in Anspruch nehmen, als durch die sonstigen zum Kabeleinziehen notwendigen Arbeiten erforderlich wird.
4. Die Winde muß — unter Umständen durch eine sicher wirkende Bremsvorrichtung — augenblicklich angehalten werden können, wenn beim Einziehen irgendwelche Schwierigkeiten entstehen.
5. Die Winde soll die Möglichkeit bieten, die Geschwindigkeit des Einziehens nach Bedarf innerhalb gewisser Grenzen zu verändern, und soll auch beim Ablaufen des Zugseiles eine ausreichend schnelle Rückwärtsbewegung gestatten.
6. Erwünscht ist ferner noch das Vorhandensein eines Dynamometers, eines Geschwindigkeitsanzeigers und einer bei bestimmten Höchstbelastungen selbsttätig auf eine Bremse wirkenden Ausschaltevorrichtung, um Beschädigungen der Kabel oder der Winde zu vermeiden.

7. Die Aufwickelvorrichtung für das Zugseil muß eine Verwirrung der einzelnen Seilwindungen sicher verhüten.
8. Der Betrieb darf keine Gefahren, weder für die Arbeiter, noch für Passanten bieten und soll den Straßenverkehr so wenig wie möglich beschränken.
9. Die Anschaffungs-, Betriebs- und Unterhaltungskosten sollen möglichst gering sein.

Diese Forderungen können jedoch in der Gesamtheit für eine und dieselbe Winde in vollem Umfange kaum aufrecht erhalten werden. Man wird sich daher mit gewissen Zugeständnissen abfinden müssen und im Einzelfalle hauptsächlich diejenigen Bedingungen stellen, deren Erfüllung für den beabsichtigten Zweck in erster Linie in Betracht kommt. Die Konstruktion der Winden ist in der Hauptsache durch die geforderte Leistung und die vorgesehene Antriebskraft gegeben; die Größe und das Gewicht, sowie die Art der Transportierung sind dann hieraus sich ergebende Folgerungen.

Die Kraftaufwendung einer Kabelwinde richtet sich nach der Kabeltype, der Länge der Kanalstrecke, sowie nach der Konstruktion und Verlegungsart der Kanalrohre. Je leichter das Kabel und je kürzer die Strecke ist, je flacher der Kanal verlegt ist, je glatter die Innenwandungen der Kanäle und je größer die Öffnungen sind, und je weniger die Richtungslinie von der Geraden abweicht, um so leichter werden das Einziehen und das Wiederherausholen der Kabel vonstatten gehen.

Die beim Einziehen erforderliche Kraftleistung wird durch zwei Faktoren bedingt, nämlich durch das Kabelgewicht und den Rohrwiderstand. Beide Kräfte wachsen mit der Länge des eingezogenen Kabels. Die zum Abrollen des Kabels von der Trommel aufzuwendende Kraft wird nicht von der Kabelwinde beansprucht, sondern von den am Haspel beschäftigten Arbeitern geleistet. Diese Kraftaufwendung ist nur sehr gering, es liegt sogar umgekehrt die Hauptarbeit der betreffenden Arbeiter im Bremsen der Trommel, damit das durch das Einziehen in gleitender Bewegung befindliche Kabel nicht zu schnell abrollt.

Den Hauptfaktor beim Durchziehen durch den Kanalzug bildet nicht das Gewicht des Kabels, sondern die mit der Länge des eingezogenen Kabels zunehmende Reibung an der Wandung. Aus diesem Grunde ist es besonders erforderlich, den Kanal möglichst geradlinig zu bauen und das Rohr vor dem Einziehen recht sorgfältig zu prüfen. Für den Reibungswiderstand ist aber nicht nur die Beschaffenheit der Innenfläche, sondern auch der Durchmesser des Hohlraumes von Bedeutung. Je enger das Rohr ist, mit einem um so größeren Teil seines Umfanges wird das Kabel dasselbe berühren, und desto stärker wird demnach die Reibung sein. Die aufzuwendende Kraftleistung kann aber durch gute Schmierung des Kabels und durch zweckmäßige Stellung von Winde und Kabeltrommel zum Kanalzuge wesentlich verringert werden.

Anders liegen die Verhältnisse beim Herausziehen von Kabeln. Hier ist die größte Kraftaufwendung beim ersten Anzuge notwendig, um das Kabel überhaupt erst zu lockern. Die Arbeit gestaltet sich in diesem Falle mit zunehmender Länge des herausgeholten Kabels leichter, da das Gewicht und die Reibung abnehmen. Es ist übrigens darauf zu achten, daß niemals eine

größere Kabellänge herausgezogen wird, als ordnungsmäßig und sicher gelagert und aufgetrommelt werden kann. Die Arbeit des Herausziehens wird also zeitweilig unterbrochen werden müssen.

Während in Kanälen mit Einzelöffnungen das Ein- und Herausziehen der Kabel verhältnismäßig leicht vonstatten gehen, sind beim Vollrohrsystem oft erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden und namentlich beim Herausziehen große Zugleistungen von der Kabelwinde zu fordern [1]). Allein schon das Gewicht der in den Vollrohren verwendeten bewehrten Kabel ist größer, besonders wird aber durch die nie zu übersehende unregelmäßige Lagerung der Kabel im Rohrstrange und die dadurch verursachten Durchzugbeschränkungen der erforderliche Kraftaufwand oft ganz außerordentlich erhöht; er ist unter Umständen auf 3000 bis 4000 kg zu schätzen. Für solche Ausnahmefälle sollen aber die Winden in der Regel nicht gebaut werden, da sie dadurch für die gewöhnlichen Anforderungen zu groß und schwer werden würden. Es wird im allgemeinen genügen, eine garantierte Zugleistung von etwa 1000 kg mit vielleicht fünffacher Sicherheit zu fordern, so daß die Winde bei unerwarteten Schwierigkeiten ohne Gefahr auch höhere, kurz andauernde Beanspruchungen aushalten kann. Für Winden mit besonders hohen Anforderungen können bei entsprechender Sicherheit 4000 kg als höchste garantierte Leistung angenommen werden.

Das Zugseil muß eine solche Bruchfestigkeit [2]) besitzen, daß es selbst bei plötzlich auftretenden, das Normalmaß erheblich überschreitenden Zugbeanspruchungen gegen ein Zerreißen gesichert ist. Die Gefahr liegt in solchen Fällen weniger in dem Steckenbleiben des Kabels, als vielmehr in der durch das unerwartete Reißen entstehenden vollständigen Entspannung des von der Winde gezogenen Seiles, wodurch Beschädigungen der Maschinen und auch, namentlich bei Handkabelwinden, Gefahren für die Arbeiter verursacht werden können. Die Konstruktion und Dimensionierung des Seiles sind entsprechend der garantierten Zugleistung der Winde zu wählen. Als Material werden in der Regel Tiegelgußstahldrähte verwendet. Die Länge des Seiles muß der größten in Betracht kommenden Kanallänge zwischen zwei Brunnen entsprechen; es wird im allgemeinen 300 m lang genommen. Das Zugseil erhält an dem freien Ende zur Verbindung mit dem Kabel noch einen besonderen kräftigen Abschluß zur Aufnahme eines Schäkels; dieser soll zur Verhütung von Beschädigungen der Kabel einen drehbaren Wirbel haben.

Die Seiltrommel der Winde muß das ganze Zugseil bequem aufnehmen können und den Zugbeanspruchungen entsprechend kräftig gebaut sein. Es kommen zwei Konstruktionsmöglichkeiten in Betracht: Entweder dient die Seiltrommel gleichzeitig als Zugvorrichtung, d. h. das Seil wird durch Drehung der Seiltrommel gezogen und auch gleichzeitig auf diese aufgewickelt, oder aber sie dient in der Hauptsache tatsächlich nur als Aufwickelvorrichtung. In letzterem Falle wird der Zug dann durch eine besondere Trommel, den Spill, aufgenommen. Das Seil wird beim Ziehen in zwei oder drei Lagen um den Spill gewickelt und erst dann, direkt oder über weitere Zwischenrollen, mit geringer Beanspruchung auf die eigentliche Seiltrommel geschichtet;

---

[1]) Zu vgl. die früheren Ausführungen auf S. 151. — [2]) Etwa zwischen 4000 und 10 000 kg.

infolgedessen kann letztere einen geringeren Kerndurchmesser erhalten und dadurch eine größere Seillänge aufnehmen.

Die Spillwinden werden für gleiche Beanspruchung größer und schwerer als die reinen Seiltrommelwinden gebaut und sind daher für dieselbe Leistung teurer. Sie haben jedoch den großen Vorteil, daß der Spill durch seine schiefe Ebene das Seil immer nach derselben Stelle zwingt, so daß es stets in derselben Richtung aus dem Kanalrohr herauskommt. Eine Richtungsveränderung durch das Hin- und Herführen des Seiles über die ganze Breite der Trommel zur geordneten Aufschichtung in Lagen fällt hier also fort. Auf diese Weise werden die Einführungsöffnungen der Kanäle besser vor Beschädigungen geschützt, ferner wird eine Verlagerung der in den Brunnen untergebrachten Packrollen, sowie das durch die wechselnde Lage des Seiles auf der Trommel verursachte Ecken oder Verschieben der Winde vermieden, und schließlich kann das Seil selbst mehr geschont werden. Der Spill gewährleistet auch eine gleichmäßigere Kraftaufwendung.

Der Halbmesser der Trommel und die zu ihm senkrecht stehende Trommelachse bilden zusammen einen zweiarmigen Hebel, an dessen einem Ende das durch das Kabel belastete Zugseil und an dessen anderem Ende die Zugkraft der Winde wirkt. Das Drehmoment ist gleich dem Produkt aus Kraft und Hebelarm. Vergrößert sich nun der eine Hebelarm durch die allmählich fortschreitende Aufwickelung des Seiles, so muß am Ende des anderen, stets gleich bleibenden Hebelarmes eine wachsende Kraft aufgewendet werden, oder die Leistung der Winde verringert sich. Beim Spill dagegen läuft das Seil stets über denselben Durchmesser, außerdem ist der Hebelarm kürzer als bei der eigentlichen Seiltrommel, so daß schon dadurch die Kraftaufwendung geringer gehalten werden kann.

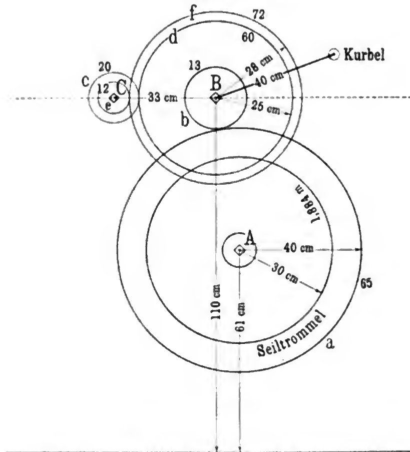
Zum ordnungsmäßigen Aufwickeln des Seiles auf die Seiltrommel ist eine besondere Vorrichtung, der Verteiler, notwendig. Das Seil läuft in der Regel über eine kleine Rolle, die auf einer zwischen den beiden Seitenschilden der Winde vor der Seiltrommel wagerecht befestigten Stange mit Schrauben ohne Ende hin und her geführt wird und so die glatte Schichtung des Seiles vermittelt. Das Ingangsetzen und Fortlaufen der Schraubenspindel kann entweder automatisch durch maschinelle Übertragungseinrichtungen geschehen, oder es muß ein Arbeiter diese Spindel dem Umlauf der Trommel entsprechend durch Drehung eines besonderen Handrädchens mit Zahnradübertragung in Betrieb halten. Ersteres ist einfacher und bei den meisten Winden mit Kraftantrieb eingeführt, im Prinzip jedoch bei jeder anderen Winde möglich und auch teilweise vorhanden. Zugunsten der Handaufwickelung kann andererseits ins Feld geführt werden, daß Unregelmäßigkeiten, die beim Aufwickeln teilweise abgenutzter Seile entstehen, leichter bemerkt und dann ausgeglichen werden können.

Die Leistung einer Kabelwinde beim Kabeleinziehen oder Kabelherausziehen soll an dem Beispiele der in Abb. 83 dargestellten Handkabelwinde schematisch erläutert werden. Wie aus **Abb. 82** zu ersehen ist, sitzt auf der Trommelwelle A ein Zahnrad a mit 65 Zähnen, das in ein anderes Rad b mit 13 Zähnen eingreift. Auf der Kurbelwelle B dieses Rades sitzen ferner ein Rad f mit 72 und dicht neben diesem noch ein Rad d mit 60 Zähnen. Das größere kann mit einem 12 zähnigen Rade c, das kleinere mit einem 20 zähnigen

Rade c in Eingriff gebracht werden; diese sind beide auf einer seitwärts gelagerten Vorgelegewelle C befestigt. Die Winde arbeitet mit drei verschiedenen Übersetzungen und leistet im Höchstfalle 10 bis 12 m in der Minute.

Für die folgende Berechnung ist vorausgesetzt worden, daß an der Winde 6 Mann drehen und während dieser Arbeit im Durchschnitt je 15 kg Kraft aufwenden, sowie daß 25 Kurbelumdrehungen in der Minute gemacht werden. Wenngleich im einzelnen auch wohl mehr geleistet werden kann, so darf man doch für die Dauer als ständige Leistung kaum mehr als 15 kg ansetzen. Der Umfang des Kerns der Kabeltrommel von 30 cm Radius be-

Abb. 82.



trägt 1,884 m. Es verhält sich nun $a:b = 65:13 = 5:1$. Bei diesem Übersetzungsverhältnis wird also durch jeden einzelnen Kurbelumgang das Kabel um $\frac{1,884}{5} = 0,377$ m fortbewegt, und dem entspricht eine Minutenleistung von $25 . 0,377 = 9,4$ m Kabelzug. Die auf das Kabel übertragene Zugkraft beträgt unter Berücksichtigung der entsprechenden Hebelarme und eines Gütegrades von 0,85 für ein Zahnradpaar $\frac{6 . 15 . 5 . 40 . 0,85}{30} = 510$ kg.

Eine solche Kraft genügt im Anfang beim Einziehen von Kabeln vollständig. Mit wachsender Kabellänge reicht das Drehmoment bei B nicht mehr aus, die gegen den Zug wirkenden Kräfte des Kabelgewichtes und der Reibung werden größer, so daß die Arbeiter erheblich überanstrengt werden müßten. Um dieses zu vermeiden, wird die zweite Übersetzung durch einen Hand-

griff eingerückt, die Kurbel von der Welle B fortgenommen und auf die Vorgelegewelle C gesetzt. Durch Drehung bei C wirkt jetzt Rad c auf d, das auf der Welle B befindliche Rad b läuft mit und treibt dadurch das Seiltrommelrad a. Die Übertragung ist jetzt $\frac{60}{20} \cdot \frac{65}{13} = 15$ fach. Der durch eine Umdrehung geförderte Seilzug sinkt auf $\frac{1{,}884}{15} = 0{,}125$ m, die Minutenleistung auf $25 . 0{,}125 = 3{,}14$ m, dagegen steigt die auf die Trommel übertragene Zugkraft auf $\frac{6 . 15 . 15 . 40 . 0{,}85^2}{30} = 1300$ kg. Wird ausnahmsweise eine noch höhere Kraft erforderlich, so kann noch die dritte Übersetzung eingerückt werden, wobei Rad e in f greift, während c und d ausgeschaltet sind. Die Übersetzung ist demnach $\frac{72}{12} \cdot \frac{65}{13} = 30$ fach, der Seilzug beträgt bei einer Umdrehung $\frac{1{,}884}{30} = 0{,}063$ m, die Minutenleistung $25 . 0{,}063 = 1{,}58$ m. Die auf die Trommel wirkende Kraft ist auf das Doppelte wie vorher, auf 2600 kg angewachsen. Bei diesen Berechnungen ist stets gleichbleibende Arbeitsleistung der 6 Arbeiter vorausgesetzt. Beim Herausziehen von Kabeln wird umgekehrt von der höheren auf die niedere Übersetzung übergegangen, da diese Arbeit im Anfang am schwierigsten ist (zu vgl. S. 208).

Hierzu sei noch bemerkt, daß die Arbeit um so verlustloser vor sich gehen wird, je geringer bei der gewählten Übersetzung die Zahl der Kurbelumdrehungen für 1 m Seilzug ist; es kann aber andererseits durch möglichst leichten Gang der Winde und recht sorgfältige Wartung viel eingeholt werden. Vielleicht möchte es sich empfehlen, an Stelle der nur gegossenen Räder Kugellager und genau gefräste Zahnräder zu verwenden; der Wirkungsgrad könnte dadurch nicht unerheblich verbessert werden.

Während mit dieser Winde eine Geschwindigkeit von etwa 10 m in der Minute erreicht wird, kann die Einziehgeschwindigkeit bei Kraftwinden bis über 20 m gesteigert werden. Es fragt sich aber, ob eine derartig hohe Geschwindigkeit überhaupt anzustreben ist. Im allgemeinen wird man bei starken Kabeln ohne Gefahr nicht über 6 bis 8 m hinausgehen dürfen. Nur bei ganz glatten, geradlinigen und flach eingebetteten Kanälen kann diese Grenze wohl gelegentlich ohne Bedenken überschritten werden. Die mit dem schnellen Einziehen verbundenen Gefahren liegen namentlich darin, daß bei plötzlich auftretenden Schwierigkeiten die Winde und Kabeltrommel nicht so schnell gebremst werden können, als daß nicht durch die in der bewegten Trommel wirkende lebendige Kraft das Kabel doch noch weiter abgerollt wird. Je größer die Geschwindigkeit ist, um so mehr wird von der Trommel noch abrollen, und desto größer ist die Möglichkeit einer Beschädigung des Kabels durch Knicke und Stauchungen. Es liegt auch kein Bedürfnis vor, die Geschwindigkeit so sehr zu steigern. Wenn nur die sonstigen beim Einziehen erforderlichen Arbeiten möglichst beschleunigt werden, so wird im ganzen mehr erreicht, als durch einen um einige Meter schnelleren Seilzug.

Der Vergleich zwischen Hand- und Kraftwinden fällt in der Hauptsache zugunsten der letzteren aus. Die Handkabelwinden haben aller-

dings den Vorzug, daß sie durchschnittlich kleiner und leichter sind. Außerdem ist zu beachten, daß beim Einziehen die plötzlich eintretenden Schwierigkeiten den an der Handkurbel drehenden Arbeitern durch Gegendruck unmittelbar bemerkbar werden, daß also sofort gebremst und der Ursache nachgeforscht werden kann. Bei Kraftwinden ist dagegen die Störung zunächst nur am Dynamometer wahrzunehmen. Abgesehen davon, daß die Beobachtung vorübergehend unterlassen werden kann, ist selbst bei genügender Wartung doch ein so schnelles Stoppen nicht möglich, als es bei Handwinden ganz von selbst durch den auftretenden Gegendruck eingeleitet wird. Die für Handwinden verwendete menschliche Arbeitskraft ist aber sehr teuer und auch außerordentlich ungleichmäßig. Ganz abgesehen von der verschiedenen Körperkraft der einzelnen Arbeiter und ihrer verschiedenen Betätigung, wird schon durch die Länge der Arbeitszeit die von ihnen aufzubringende Leistung allmählich geringer. Es müssen namentlich im Sommer bei Sonnenhitze immer längere Pausen eintreten. Andererseits ist aber gerade der Sommer, wo überdies die Arbeiten auch noch besonders drängen, die für das Kabeleinziehen günstigste Zeit. Es wird also im ganzen beim Handbetrieb viel kostbare Zeit verloren gehen. Dazu kommt ferner, daß bei sehr schweren Arbeiten die Leistungsfähigkeit der einzelnen Winden gar nicht voll ausgenutzt werden kann, da die Verwendung ausreichend langer Kurbelstangen für die nötige Arbeiterzahl oft nicht möglich ist, im übrigen auch die gesamte Leistung erfahrungsgemäß nicht in gleichem Verhältnis wie die Verstärkung des Arbeiterpersonals wächst.

Diese Bedenken fallen bei den Kraftwinden fort. Ihre Leistung ist von der Jahreszeit und der Länge der Arbeitszeit unabhängig, die gesamte Kraft wirkt an einer Stelle und bleibt stets gleichmäßig. Der außerordentliche Vorzug der Kraftwinden liegt also in der wesentlichen Beschleunigung der gesamten Einzieharbeiten. Hierbei kommt allerdings weniger die höhere Seilgeschwindigkeit in Frage, da diese aus Sicherheitsgründen eine gewisse Grenze nicht überschreiten soll, als vielmehr die Tatsache, daß ohne Unterbrechung und auch bei höheren Kraftanforderungen mit größerer, vor allem aber mit gleichmäßigerer Geschwindigkeit als bei Handbetrieb gearbeitet werden kann. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb der im allgemeinen mit erheblich höheren Beschaffungs- und Unterhaltungskosten verbundenen Kraftwinden ist eine möglichst weitgehende Ausnutzung. Solche Winden werden also in der Regel nur dann mit wirtschaftlichem Vorteil zu verwenden sein, wenn eine Handkabelwinde für den Umfang der Arbeiten nicht mehr ausreicht und zusammenhängende Arbeiten auf derselben Strecke auszuführen sind. Die beim Kabeleinziehen notwendigen vielen Nebenarbeiten erfordern den größten Teil der Zeit, man muß also dafür sorgen, daß alle Vorbereitungen so getroffen werden, daß das eigentliche Einziehgeschäft glatt und ohne Unterbrechungen vonstatten geht, und daß die Arbeiten sich örtlich möglichst aneinander anschließen, da auch die Transportkosten der schweren Winden durchschnittlich recht hoch sind. Die eigentlichen Betriebskosten der Kraftwinden sind andererseits wesentlich geringer als bei Handwinden.

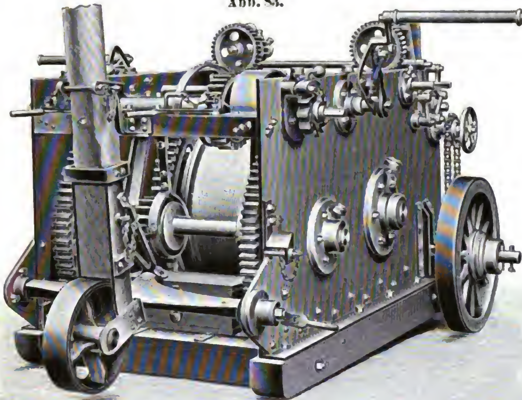
Die Tagesleistungen der Winden sind im Vergleich schwer zu beurteilen. Sie sind außerordentlich abhängig von der Örtlichkeit, dem Wechsel der Einziehstellen, der Jahreszeit, der Bauart der Kanäle und der Stärke der

Kabel, sowie von den Vorbereitungsarbeiten. Im allgemeinen wird man bei einer Handwinde mit einer Leistung von 600 bis 800 m Hauptkabel zufrieden sein können; Kraftwinden leisten im Durchschnitt mindestens das Doppelte wie Handwinden und können es bei günstigen Verhältnissen auf weit über 2 km Kabellänge bringen.

Nachstehend sollen zur weiteren Erläuterung einige besonders typische, bei der R. T. V. gebräuchliche Kabelwinden in kurzen Zügen beschrieben werden. Hierbei werden auch noch einzelne allgemeine Gesichtspunkte Erwähnung finden können.

Abb. 83 stellt in Form und Zusammensetzung — mit gewissen, durch besondere höhere Anforderungen bedingten Änderungen — die hauptsächlich ver-

Abb. 83.



wendete Handkabelwinde dar; sie ist von der Firma Carl Beermann in Berlin im Jahre 1909 konstruiert, ihre Wirkungsweise ist oben bereits erläutert worden. Eine solche Winde wird gewöhnlich für eine Kraftleistung von 800 kg bei 5 facher Sicherheit gebaut, die Winde besitzt aber in dieser Ausführung eine Zugkraft von 4000 kg bei 2,5 facher Sicherheit, so daß sie im äußersten Falle vorübergehend mit etwa 10 000 kg beansprucht werden kann. Diese Winde wird in Berlin namentlich zum Herausziehen der alten bewehrten Kabel aus Vollrohrsträngen mit großem Nutzen verwendet. Sie ist besonders stabil gebaut, ihr Nachteil liegt allerdings in dem außerordentlich hohen Gewicht, wodurch der Transport recht erschwert wird. Der Personalbedarf der abgebildeten Winde beträgt 17 Mann, einschließlich der Hilfsmannschaften in den Brunnen, an der Kabeltrommel usw. Die Aufschichtung des Seiles erfolgt mittels Handrades, ein selbsttätiger Maximalausschalter ist nicht vorhanden.

Im Durchschnitt haben in Berlin die Betriebskosten der gewöhnlichen kleineren Handkabelwinde rund 170 ℳ für 1 km eingezogenes Kabel betragen.

Die aus **Abb. 84** ersichtliche Winde ist eine Handkabelwinde mit Spill, sie ist im Jahre 1903 von der Firma Eduard Weiler, Maschinen-

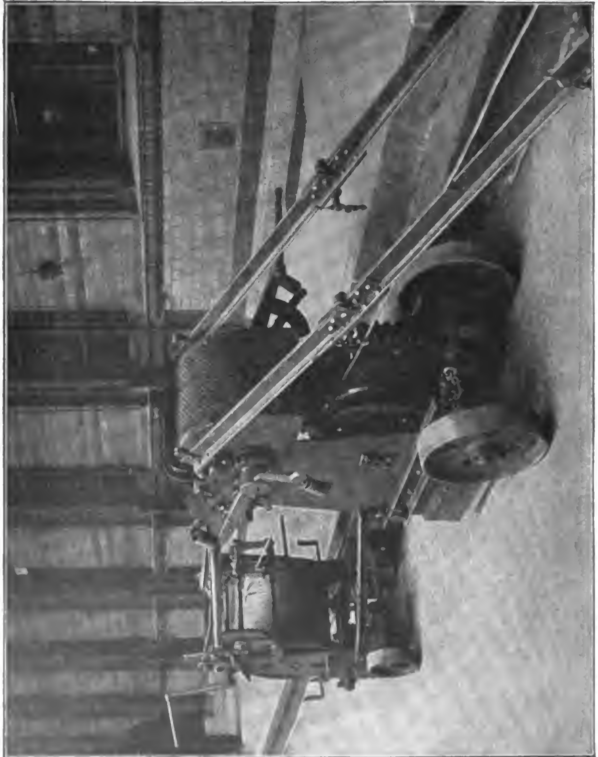


Abb. 84.

fabrik, Berlin, für 3000 kg Zugleistung gebaut worden. Die Winde besteht aus zwei Teilen: der eigentlichen Zugwinde, dem Spill, und der Seiltrommel. Beide Teile werden mit festen Versteifungseisen so miteinander verbunden, daß ein Gleiten verhindert wird. Die Zugwinde wird außerdem gegen die Richtung des Seilzuges durch zusammenklappbare Eisenträger, welche gegen die Brunnenzargen drücken, festgelegt. Die auf zwei Wellen verteilten Vor-

gelege geben — unter den auf S. 210 erörterten Voraussetzungen — bei den vorhandenen drei Übersetzungen und einem Spilldurchmesser von 40 cm einen Seilweg von 1 m bei 4, 7 und 27 Kurbeldrehungen. Die Handkurbeln der Winde sind — wie auch bei der in Abb. 83 dargestellten großen Handkabelwinde — mit kräftiger Federung versehen. Diese Federn sollen die Stöße, die beim Einziehen der Kabel entstehen können, aufnehmen, so daß die Winde nicht beschädigt werden kann und auch die Arbeiter vor unvorherzusehenden Unfällen geschützt werden. Die Kurbelfedern wirken also ausgleichend auf den Gang der Winde.

Diese Kabelwinde hat gegen die vorige zunächst die oben bereits erwähnten Vorteile aller Spillwinden. Die Winde hat selbsttätige Seilführung und einen Maximalanzeiger, der an einer Graduierung Kurbeldruck und Seilzug erkennen läßt und somit eine Kontrolle über die Beschaffenheit des Rohrstranges und über die Arbeitsleistung der Leute gewährt. Die Betriebskosten haben für 1 km Kabel durchschnittlich rund 150 *M* betragen, also etwa 12 v. H. weniger als bei der gewöhnlichen Handwinde; zur Bedienung sind einschließlich der Hilfsmannschaften 13 Arbeiter erforderlich. Durch die Zerlegung der Winde in zwei getrennte Geräte ist der Transport erleichtert, doch ist die Winde gegen unebenes Pflaster recht empfindlich, so daß zum Teil ziemlich beträchtliche Transportschäden verursacht worden sind. Um diesem Übelstande abzuhelfen, ist neuerdings für derartige Kabelwinden ein gefederter eiserner Transportwagen von 4 m Länge und 1,7 m lichter Höhe beschafft worden. Diese „Weilerwinde“ ist im allgemeinen ein für große Leistungen auch bei beschränkten örtlichen Verhältnissen mit gutem Erfolge verwendbares Gerät, sie erfordert aber recht sorgsame Behandlung und soll daher nur von besonders eingeübtem Personal bedient werden.

Elektrische Winden werden namentlich in Amerika und in England verwendet. In ersterem Lande wird ihre Benutzung vielfach dadurch erleichtert, daß die elektrische Energie benachbarten Hausanschlüssen oder auch der Straßenbahnfahrleitung entnommen und direkt auf die Elektromotoren der Kabelwinden übertragen wird. Einem solchen Verfahren würden bei uns manche Bedenken entgegenstehen; der Strom ist nicht überall zu haben, die Zähler- und Kostenfrage ist nicht leicht zu lösen usw.

Die R. T. V. ist aber auch ihrerseits der Verwendung der elektrischen Energie als Ersatz für menschliche Kraft näher getreten und hat im Jahre 1905 bei der Firma Siemens u. Halske, Berlin, ein Maschinenaggregat[1]) zum Einziehen von Kabeln mittels Elektromotor in Auftrag gegeben. Als eigentliche Kraftquelle dient ein Benzinmotor von 6 PS, mit dem direkt gekuppelt eine Nebenschluß-Gleichstrom-Dynamomaschine läuft, die bei etwa 650 Umdrehungen in der Minute rund 3,5 KW leistet. Diese beiden Maschinen sind mit einer kleinen Schalttafel, den Sicherungen und Meßinstrumenten, sowie mit einer Kabeltrommel zur Aufnahme von 50 m zweiadrigem Gummikabel auf einem gefederten Wagen untergebracht und bilden die Kraftstation. Auf einem zweiten Wagen ist die eigentliche Kabelwinde mit ihrem Antriebsmotor montiert. Letzterer ist ein Gleichstromelektromotor,

---

[1]) Näheres s. Herm. Schultz, Eine fahrbare Kabelwinde mit elektrischem Antrieb, E. T. Z. 1907, S. 1141 ff.

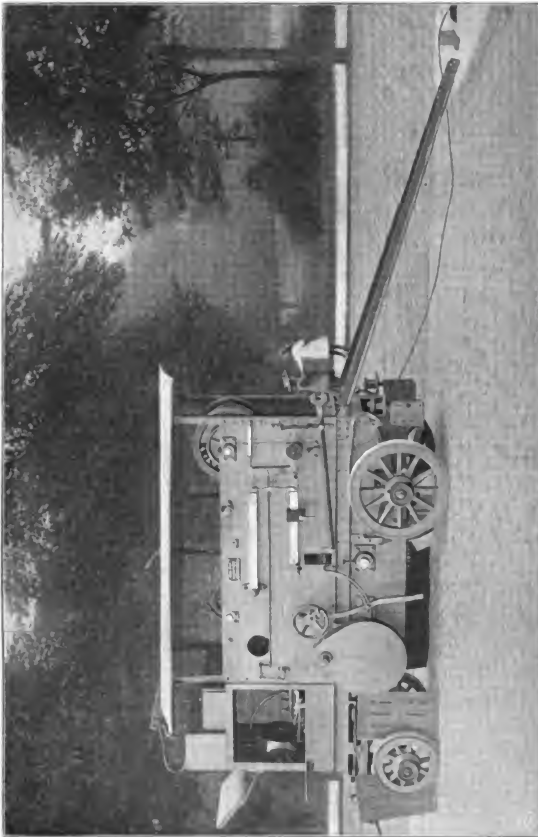
der rund 3 PS bei 220 Volt und 1200 Umdrehungen mit einem Wirkungsgrad von etwa 0,80 leistet und seinen Strom aus der Dynamomaschine der Kraftstation durch das Gummikabel erhält. Die Umdrehungszahl läßt sich mittels eines Anlaßwiderstandes um 90 v. H. vermindern, so daß mit ganz geringer Geschwindigkeit angefangen werden kann. Der Antrieb der Winde erfolgt vom Motor aus durch ein Schneckengetriebe, jedoch kann die Winde nach Lösung der Kuppelung auch durch aufgesteckte Kurbeln von Hand betätigt werden. Durch Einschaltung verschiedener Rädervorgelege, sowie durch Regelung der Umdrehungszahl kann die Einziehgeschwindigkeit in Grenzen von 0,2 bis über 40 m in der Minute gewählt werden. Auf dem Windenwagen sind auch noch die weiter erforderlichen Hilfsgeräte untergebracht, wie Dynamometer, Momentausschalter — letzterer tritt bei jeder beliebig zu wählenden Seilspannung, im Höchstfalle bei 2000 kg in Tätigkeit —, Fallbremse, automatische Seilführung und die Seiltrommel. Die eigentliche Windentrommel ist als Gangspill ausgebildet. Die Verteilung der Maschinen und Zubehörteile auf zwei Wagen hat den Zweck, die Anlage möglichst beweglich zu gestalten und den Benzinmotor auch für andere Arbeiten verwenden zu können. Um letzteres zu ermöglichen, ist auf der Welle des Motors noch eine besondere Riemenscheibe angebracht.

Diese elektrische Kabelwinde hat sich in wirtschaftlicher und technischer Beziehung im allgemeinen gut bewährt. Zum Betriebe sind einschließlich der Hilfsmannschaften an den Brunnen in der Regel nur 12 Mann erforderlich. Die Betriebskosten haben im Durchschnitt für 1 km Kabel etwa 100 ℳ betragen. Hierin ist der Transport der beiden Wagen durch drei Pferde mit eingerechnet — diese Kosten betragen allein etwa 7 ℳ —, ebenso die Kosten für Benzin, Öl usw. mit 4 ℳ für 1 km. Die Maschinen arbeiten sehr sicher, der Betrieb ist durchaus ungefährlich; bei höheren Leistungen als 2000 kg kann Handbetrieb eintreten. Der Nachteil dieser Winde liegt in dem verhältnismäßig geringen Nutzeffekt des Antriebsmotors, ferner in der sehr großen Raumbeanspruchung und dem unbequemen Transport. Aus diesen Gründen ist beabsichtigt, den elektrischen Betrieb aufzugeben und die Winde mit erhöhter Zugleistung unmittelbar durch einen Benzinmotor anzutreiben.

Benzinmotorwinden haben gegenüber Winden mit elektrischem Betriebe den großen Vorzug, daß die Kraftquelle unmittelbar zugleich als Windenantrieb benutzt werden kann, es können also Kraftquelle und Winde zusammengelegt und bequem auf einem Wagen untergebracht werden. Infolge der direkten Kraftübertragung und des Fortfalles weiterer Zwischenglieder werden der Nutzeffekt und damit die Rentabilität der Anlage wesentlich erhöht.

Aus **Abb. 85** ist eine im Jahre 1909 von der bereits genannten Firma Weiler konstruierte Kabelwinde mit Antrieb durch einen Benzinmotor in ihrer äußeren Form zu ersehen. Der 4-Zylinder-Motor hat eine Leistung von 12 PS, die Zündung erfolgt magnetelektrisch nach dem System Bosch. Die Einziehgeschwindigkeit kann bei einer Zugleistung von 3000, 1500, 1000 und 800 kg auf 2, 4, 6 und 8 m bemessen werden. Zur Vermeidung von Beschädigungen der Kabel ist an der linken Außenwand des Wagens eine verschieden einstellbare Ausschaltvorrichtung mit dem Dynamometer verbunden. Das Zugseil wird durch einen Spill gezogen und über drei Laufrollen auf die

Wickeltrommel aufgeschichtet. Der Antrieb der Winde erfolgt durch ein Wechselgetriebe, das den Seilgeschwindigkeiten entsprechend vier Vorwärts-


Abb. 85.

geschwindigkeiten und dazu eine größere Rückwärtsgeschwindigkeit zum Abziehen des Seiles besitzt. Außerdem ist noch Handbetrieb mit Kurbeln möglich. Die Seilaufwickelvorrichtung wirkt in der Regel selbsttätig, sie

kann jedoch auf Handbetrieb eingestellt werden. An der Seiltrommel ist noch eine Reibungskuppelung angebracht, die sich beim plötzlichen Auftreten von Widerständen oder bei übermäßiger Belastung von selbst ausschaltet, so daß Beschädigungen des Seiles vermieden werden. Der Windenwagen wird beim Betriebe durch verstell- und zusammenlegbare Spreizen aus Eisenträgern gegen die Brunnenzarge abgesteift.

Diese Kabelwinde hat sich in Berlin bisher gut bewährt. Der Betrieb und die Wartung sind einfach, die Betriebsunkosten im Verhältnis zur Leistung wesentlich geringer, als bei der vorher erwähnten elektrischen Winde; zuverlässige Betriebswerte sind bisher nicht bekannt geworden.

Es lag nahe, auch die Dampfkraft zum Antrieb von Kabelwinden zu benutzen. Bedenken hiergegen bestanden zunächst in der Notwendigkeit des jedesmaligen Anheizens des Dampfkessels und in den Befürchtungen wegen etwaiger Störung oder selbst Gefährdung des Straßenverkehrs. Nach den in Hamburg im Verlauf mehrerer Jahre mit dem Dampfbetriebe gemachten Erfahrungen können jedoch die Befürchtungen für den Straßenverkehr bei genügender Vorsicht fallen gelassen werden. Auch verursacht das Anheizen keinen Zeitverlust, da die sonstigen Nebenarbeiten ohnehin mehr Zeit in Anspruch nehmen.

Die ganze Anordnung, wie sie in Hamburg mit bestem Erfolge in technischer und wirtschaftlicher Beziehung verwendet wird, ist aus **Abb. 86** zu ersehen. Der Dampfkessel ist ein stehender Quersieder mit einem glockenförmigen Außenmantel und konzentrisch eingesetzter Feuerbüchse, deren oberer Teil stark eingezogen ist und als Rauchrohr dient. Durch einen aufgesetzten Funkenfänger aus engmaschigem Drahtgeflecht wird jegliche Feuersgefahr sicher vermieden. Der Kessel ist auf 10 Atm. Betriebsüberdruck geprüft. Die zugehörigen Armaturstücke (Wasserstandanzeiger, Manometer, Speisepumpe, Ventile und Hähne) sind dem Bedürfnis entsprechend vorhanden. Die Dampfmaschine ist zweizylindrig mit Kolbenschiebersteuerung und zum Schutz gegen äußere Einflüsse in ein mit dem Kessel verbundenes Gehäuse aus Gußeisen eingekapselt. Sie besitzt eine Leistung von 8 PS, die Tourenzahl beträgt durchschnittlich 250 in der Minute. Auf dem einen Ende der Kurbelwelle ist ein Schwungrad angeordnet, während auf dem anderen Ende ein Kettenrad montiert ist, das auf die Betriebswelle der Kabelwinde wirkt. Durch Einschalten eines Vorgeleges läßt sich eine Zugkraft bis zu 2000 kg erzielen. Mit der Maschine ist ohne Schwierigkeit ein Seilzug von über 20 m in der Minute erreicht worden. Als Kabelwinde kann nach Anbringung der Kuppelungsvorrichtung jede beliebige Handkabelwinde benutzt werden. Die feste Absteifung und die Verbindung zwischen Winde und Maschine erfolgen mittels eines Bodenrahmens und eiserner Stangen. Zur Beförderung von Maschine und Kessel dient ein einfaches, zweirädriges Wagengestell, das unter zwei am Kessel angebrachte Zapfen so angreift, daß der Kessel samt Maschine gehoben und mittels Handdeichsel durch einen Mann leicht gefahren werden kann; die Transportkosten sind also sehr gering. Die Anheizung der Maschine erfordert bis zur vollen Inbetriebnahme nur 20 Minuten. Die Betriebskosten belaufen sich auf etwa 2,50 ℳ täglich für Feuerungsmaterial, Wasser, Öl und Putzgegenstände. Zur Wartung genügt ein Mann.

Nach den mit dieser Dampfwinde seit 1905 gemachten Erfahrungen leistet sie reichlich das Doppelte des Handbetriebes und erspart damit eine

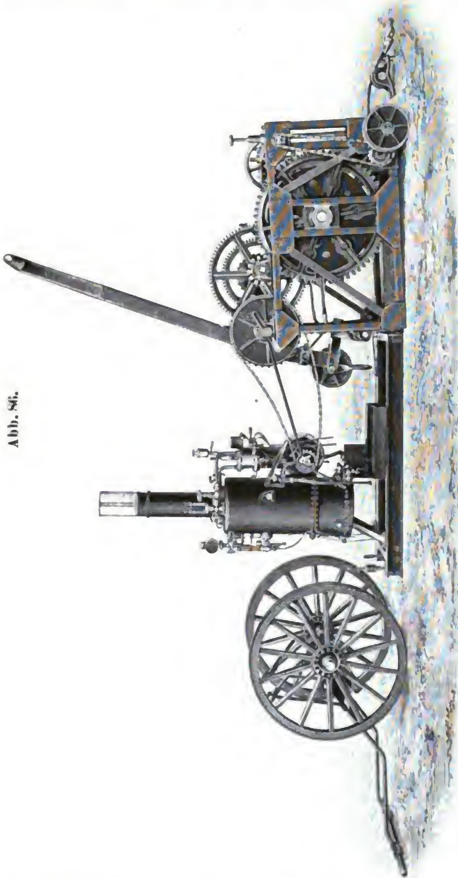


Abb. 86.

zweite Kabeleinziehkolonne. Die Anschaffungskosten sind also sehr bald gedeckt worden, zumal die Maschine im Winter mit ausgezeichnetem Erfolge

auch noch zum Auftauen von eingefrorenen Brunnenabdeckungen (s. S. 186) mittels heißen Wasserdampfes verwendet wird.

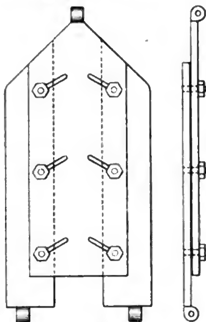
Einziehen der Kabel in Kanäle.

Die zum Einziehen der Kabel erforderlichen Arbeiten zerfallen in fünf Abschnitte:

1. Einführen des Zugseiles.
2. Prüfung des Kanalzuges.
3. Einbau von Gleitvorrichtungen in die Kabelbrunnen.
4. Aufstellen der Kabeltrommel und der Winde.
5. Das Einziehen selbst.

Die genannten vier Vorarbeiten sind im einzelnen außerordentlich wichtig, ihre sorgfältige und umsichtige Ausführung ist Vorbedingung dafür, daß das Kabel ohne Beschädigung eingezogen werden kann. Den folgenden Ausführungen sollen in der Hauptsache die bei der R. T. V. üblichen Verfahren zugrunde gelegt werden.

Abb. 87.



1. Das Einziehen des Zugseiles wird verschieden ausgeführt, je nachdem es sich um Vollrohre oder Einzelrohre handelt.

Bei Vollrohrkanälen wird beim Bau des Kanals von vornherein ein kräftiger, eiserner Zugdraht von Brunnen zu Brunnen in den Rohrstrang eingelegt. Soll das erste Kabel in einen solchen Kanal eingezogen werden, so wird an einem Ende dieses Zugdrahtes ein geschmeidiges Zugseilchen aus verzinkten Stahldrähten befestigt und dann mit dem Draht durch den Kanal zum anderen Brunnen gezogen. Mittels dieses Seiles wird darauf das eigentliche Zugseil der Kabelwinde durch eine leichte, kleine Handwinde durchgezogen. Gleichzeitig mit diesem Zugseil ist stets noch ein zweites Zugseilchen für die nächstfolgende Einziehung mit in das Rohr zu bringen. Um eine Verschlingung zwischen dem kräftigen Zugseil und dem leichten Seilchen zu verhüten, wird zwischen das erste Zugseilchen und die beiden nachfolgenden Seile ein breiter und schwerer, vorn spitz zulaufender Führungsschlitten eingeschaltet (**Abb. 87**). Der Schlitten besteht aus zwei gegeneinander verstellbaren Eisenschienen mit Zugösen und kann durch Verschiebung dieser Schienen der verfügbaren Weite der Rohre angepaßt werden. Dieses ist von besonderer Wichtigkeit, wenn der Kanal bereits teilweise mit Kabeln angefüllt ist. Sind keine Kabel mehr einzuziehen, so wird schließlich mit dem Zugseilchen wieder ein Eisendraht nachgezogen, der dann für spätere Einziehbarbeiten im Kanalrohr liegen bleibt.

Bei Einzelrohren werden Zugdrähte nicht verlegt, das Einbringen des Zugseiles erfolgt vielmehr durch ein besonderes Einführungsgestänge. Dieses besteht aus einzelnen Holzstäben von etwa 1 m Länge, die aneinandergefügt und so nacheinander als ganzes Gestänge durch die Kanalöffnung ge-

schoben werden. Das Durchführen des Schiebegestänges kann entweder nur von einer Seite oder von beiden Brunnen aus vor sich gehen. Im letzteren Falle tritt eine Beschleunigung ein, die aufzuwendende Kraft und die gegenwirkende Reibung im Kanal werden auf die Hälfte verringert, es muß aber dann eine Vorrichtung vorhanden sein, welche die in der Mitte des Rohrstranges zusammenstoßenden Stabenden sicher miteinander verkuppelt. Außer einer genügenden Bruchfestigkeit wird von einem brauchbaren Gestänge verlangt, daß die einzelnen Stäbe sich beim Weiterschieben nicht voneinander lösen. Der zusammengefügte Stangenzug soll ferner ausreichend starr sein, damit die Stäbe möglichst nur auf dem Boden des Rohrstranges fortgleiten, nicht aber beim Vorschieben ecken und an den Rohrwandungen scheuern. Die Verbindung zweier Stäbe erfolgt durch die an den Enden befestigten eisernen Hülsen. Diese sollen einen etwas größeren Durchmesser als die Holzstäbe haben, damit beim Durchschieben des Gestänges die Reibung am Rohr auf das geringste Maß beschränkt bleibt, die Stäbe selbst also den Kanal überhaupt nicht berühren.

Im allgemeinen sind bei den einzelnen Verwaltungen vier verschiedene Systeme von Schiebegestängen gebräuchlich: als starre Systeme die Schraubverbindung und der Bajonettverschluß, als unstarre Systeme die Hakenverbindung und die Kugelgelenkverbindung. Letztere beiden haben den Vorzug der schnelleren Arbeitsausführung beim Zusammensetzen und Trennen der Stäbe. Das Hakengestänge wird jedoch am besten überhaupt nicht mehr zu verwenden sein, da es zu beweglich ist. Das Gestänge eckt infolgedessen beim Vorwärtsschieben mit jeder Verbindungsstelle und stößt gegen die Rohrwandungen, es bringt die Gefahr einer Beschädigung des Kanals und auch seiner selbst mit sich und erfordert infolge der größeren Reibung vermehrten Kraftaufwand. Bei allen Konstruktionen sind namentlich scharfe Ecken zu vermeiden, da diese den Kanal beschädigen und sich an den etwa vorstoßenden Spitzenden der Rohrzüge festklemmen können; in dieser Beziehung ist die Kugelgelenkverbindung sehr günstig, auch ist die Reibung hierbei am geringsten. Die starren Systeme finden namentlich in Vollrohren Anwendung, z. B. wenn das Zugseilchen im Kanal gerissen und daher ein neues eingeführt werden muß; überhaupt sind in besetzten Kanälen, sei es für Haupt- oder Verteilungskabel, unstarre Gestänge zu vermeiden. Zur größeren Sicherheit wird in solchen Rohren der erste Stab vorn einen abgerundeten Ansatz erhalten müssen, der leicht über die vorhandenen Kabel hinweg gleitet. Für Verteilungskanäle wird bei der R. T. V. ein besonderes leichtes Schraubgestänge aus kräftigem Stahldraht verwendet.

Beim zweiseitigen Einführen des Gestänges muß sich der äußere Durchmesser der Kuppelungsvorrichtung so weit als möglich demjenigen des Kanalrohres anpassen, damit die an den beiden sich begegnenden Stabenden zentrisch anzubringenden eigentlichen Kuppelungsstücke genau aufeinander treffen und eine sichere Verbindung der beiden Gestängehälften bilden können. Beim Herausziehen darf eine Entkuppelung keinenfalls stattfinden, das Zustandekommen der Kuppelung darf auch dann nicht erschwert werden und es darf ein Festsetzen des Gestänges nicht eintreten, wenn sich zwischen den beiden Gestängeteilen durch das Vorschieben der Kuppelungsstangen kleinere Steine usw. aus dem Kanal ansammeln — in dieser Beziehung können solche

Gestänge gleichzeitig zur Prüfung des Kanalrohres auf etwaiges Vorhandensein von schädlichen Fremdkörpern dienen.

Die Einführung des Zugseiles der Kabelwinde — oder zunächst eines Zugseilchens zur Prüfung der einzelnen Kanalrohre — erfolgt in der Weise, daß das Seil mittels des Schiebegestänges — unter leichter Nachhilfe an der Winde zur Regelung eines gleichmäßigen Ablaufes — eingezogen wird. Hierbei wird der Stangenzug in dem Kabelbrunnen am Standort des Kabelhaspels durch Lösung der Verbindungen allmählich wieder in seine einzelnen Stäbe zerlegt.

Nach dem Einziehen des Zugseiles wird im Betriebe der R. T. V. bei Einzelrohrkanälen in die Rohröffnung der Werkstücke noch eine zweiteilige, vorn etwas aufgebogene Tülle aus Eisenblech gebracht. Diese soll die Rohröffnung beim Einziehen der Kabel gegen das Einschneiden durch das straff gespannte Zugseil und zugleich das blanke Kabel gegen Beschädigung des Bleimantels an den scharfen Rändern der Kanalöffnungen schützen. Als Material für solche Mundstücke wird neuerdings mit gutem Erfolge Temperguß (ein schmiedbares Gußeisen) von etwa 6 mm Wandstärke verwendet. Diese Stücke sind widerstandsfähiger und außerdem erheblich billiger als die sonst gebräuchlichen Formen aus 2 mm starkem Stahlblech; ein Einschneiden des beim Einziehen an den Rohrmündungen schleifenden Zugseiles in die Tempergußstücke ist nicht beobachtet worden.

2. Die Prüfung der Kanäle vor dem Einziehen der Kabel ist von großer Wichtigkeit, damit die Kabel sich nicht festsetzen oder sonst beschädigt werden. Bei Vollrohren wird diese Prüfung gleichzeitig mit dem Durchziehen des möglichst breit einzustellenden Führungsschlittens vorgenommen. Bei Einzelrohren erfolgt sie mittels einer am Zugseilchen befestigten und dem Kanaldurchmesser angepaßten glatten Form (Holzstab, Stahlbürste, Kabelende, Kugel usw.), die beim Durchziehen das Rohr von Unreinigkeiten befreit. Hierbei wird zweckmäßig an das andere Ende des betreffenden Reibers ein zweites Seil zu befestigen sein, damit ein Hin- und Herziehen ermöglicht wird. Entweder gleichzeitig hiermit oder noch besonders hinterher wird unter Umständen auch noch eine mit Vaseline getränkte runde Bürste mehrmals durch das Rohr gezogen, um die Innenfläche möglichst glatt zu machen und gleichzeitig kleine Unebenheiten auszugleichen. Dieses gilt allerdings hauptsächlich für Formstücke, deren Innenflächen mit einem Anstrichmittel bedeckt sind, da beim Trocknen der Stücke auf dem Lagerplatze leichte Körper oder auch grober Staub durch Wind in die Rohre getrieben sein können. Solche Vorsichtsmaßnahmen sind wegen der hohen Empfindlichkeit der Bleimäntel der unbewehrten Kabel durchaus notwendig.

3. Zur Erleichterung einer gesicherten Durchführung der Kabel durch die Kabelbrunnen, sowie zum Einhalten der Einziehrichtung werden in die Brunnen je nach Bedarf besondere Vorrichtungen, Gleitrollen, eingebaut. Derartige Einrichtungen sind nur in Ausnahmefällen ortsfest vorhanden, sie werden vielmehr in der Regel von Fall zu Fall angebracht und nach Erledigung des Einziehgeschäftes wieder entfernt, da sonst die Kanalkosten ohne zwingenden Grund ganz erheblich steigen würden. Die Rollen sind nach Art der Seilrollen am Umfang mit einer Kehlung versehen, deren Tiefe den halben

Durchmesser des einzuziehenden Kabels etwas übertrifft. Um den Bedarf an Rollen zu beschränken, empfiehlt es sich, sie mit veränderbarer Kehlung zum Einlegen von Zwischenringen einzurichten, damit sie für Kabel verschiedener Typen verwendet und auch dem namentlich bei den starken Kabeln durch die Auftrommelung veränderten Umfange angepaßt werden können. Die Gleitrollen sollen einen möglichst großen Durchmesser haben, damit das Kabel nicht unnötig scharf gebogen wird. Neben diesen großen Führungsrollen müssen je nach Lage der Verhältnisse noch weitere kleinere Rollen auf einfachen Unterlagesockeln — sogenannte Packrollen — in die Brunnen gebracht werden, um an beengten oder besonders gefährlichen Stellen eine günstigere Zugrichtung für das Seil und das Kabel zu erlangen. Diese kleineren Rollen machen sogar unter Umständen bei Brunnen mit trichterförmigen Anläufen (s. S. 180) die großen Gleitrollen ganz entbehrlich, z. B. in denjenigen Fällen, wo die in die Brunnen einmündenden Rohre einen Winkel miteinander bilden, oder wenn die in gleicher Richtung laufenden Rohre nicht in gleicher Tiefe oder bei gleicher Tiefe seitlich versetzt einmünden. Bei allen solchen Gelegenheiten können die Rollen in den Anläufen aufgestellt und dadurch beim Kabeleinziehen scharfe Winkel vermieden werden.

Wie im einzelnen die Rollen in den Brunnen unterzubringen sind, richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen. Es sind hierfür eine ganze Reihe verschiedener Konstruktionen in die Praxis eingeführt. Als solche sind z. B. zu nennen: Festlegung der großen Gleitrollen zwischen den Brunnenwandungen durch Spreizen; Befestigung der verlängerten Rollenachsen an zwei in die Brunnenwände eingelassenen Schienen oder in Schrägstellung an quer durch die Brunnen geführten Trägern; Anordnung kleinerer Rollen senkrecht übereinander an Eisenschienen, namentlich in sehr tiefen Brunnen usw. Bei einer Reihe von Verwaltungen, z. B. in Bayern und in Österreich, werden mit gutem Nutzen besondere Rollenträger verwendet, bei denen auf verschieden geformten eisernen Haltevorrichtungen in bogenförmiger Anordnung mehrere Rollen dicht hintereinander befestigt sind. Eine derartige Konstruktion sichert namentlich an der Einlaßstelle oben an der Brunnenkante und an der Kanalmündung den glatten Einlauf des Kabels; **Abb. 88** zeigt eine solche Einrichtung der bayerischen Telegraphenverwaltung.

4. Die zweckmäßige Auswahl der Standorte für Kabelhaspel und Kabelwinde ist eine weitere Vorbedingung für ein gesichertes Einziehen der Kabel. Wenn hierfür naturgemäß die örtlichen Verhältnisse, namentlich bei wachsender Größe dieser Geräte, außerordentlich mitsprechen, so sollte man doch, wenn die Örtlichkeit und der Verkehr es nur irgend angängig lassen, einige Grundsätze hierfür stets beachten:

Zunächst ist schon die Bauart des Kanals nicht ohne Einfluß[1]). Die Kabelwinde soll nach Möglichkeit an derjenigen Seite des Rohrstranges aufgestellt werden, welche es gestattet, das Kabel gegen die Muffenenden der einzelnen Formstücke oder Rohre einzuziehen. Das Kabel soll also beim Durchzug nicht gegen die in die Muffenenden einmündenden Spitzenden der vorhergehenden Kanalstücke stoßen, sondern aus diesen herausgleiten. Es ist näm-

---

[1]) Zu vgl. S. 159.

Abb. 88.

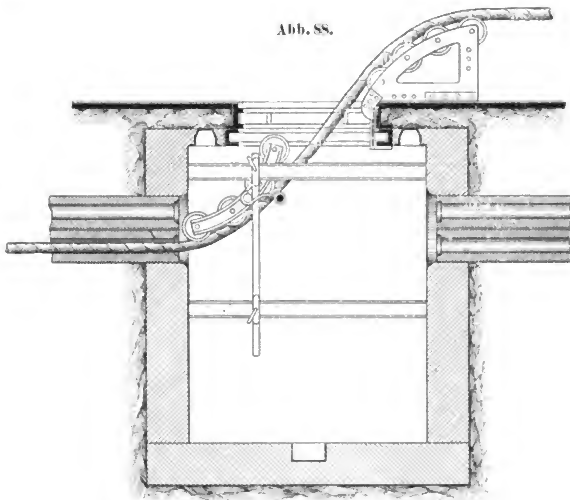
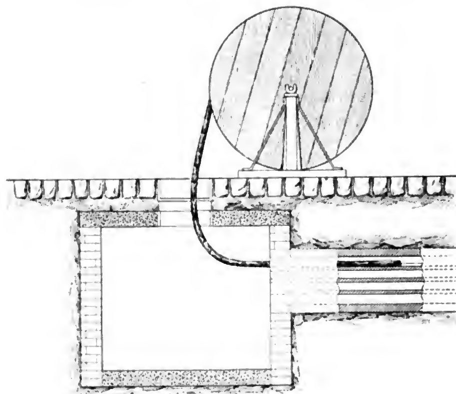


Abb. 88 a.



lich zu berücksichtigen, daß selbst bei größter Vorsicht im Kanalbau gelegentlich kleine Versetzungen von Muffe und Stoßende nicht zu vermeiden sind, auch können diese später noch durch Sacken des Erdbodens eintreten. Die Kabeltrommel wird man zweckmäßig unmittelbar an der Brunnenöffnung, und zwar auf derjenigen Seite des Brunnens aufstellen, nach welcher das Kabel in den Rohrstrang eingezogen werden muß. Das Kabel soll im Kanal möglichst unterhalb der Trommel durchgezogen werden, es muß also von der Oberseite der Trommel abrollen, wie in **Abb. 88 a**[1]) ersichtlich ist. Auf diese Weise tritt für das Kabel die geringste Biegebeanspruchung ein. Bei flachen Brunnen und ausreichender Einsteigöffnung kann auch die entgegengesetzte Einziehrichtung, d. h. von der Trommel in die gegenüberliegende Kanalöffnung, genommen werden, wenn es nach Lage der Örtlichkeit anders nicht gut angängig ist; das Kabel soll aber auch in solchen Fällen stets von oben von der Trommel ablaufen.

Im allgemeinen kann als Regel angenommen werden, daß die Kabel in einer Länge nicht weiter als um einen rechten oder zwei stumpfe Winkel gezogen werden sollen, es sei denn, daß ein weiterer Winkel in geringer Entfernung von der Einziehstelle aus liegt. In anderen Fällen ist der Kabelhaspel am zweckmäßigsten an dem mittleren Winkelpunkte aufzustellen, weil dann auf beiden Seiten nur ein Winkel zu überwinden ist; das Kabel wird also nach zwei Seiten hin eingezogen. Ist nur ein Winkel in der betreffenden Linie vorhanden, so wird man die Kabeltrommel am besten am Ende des kürzeren Schenkels aufstellen, da dann um die Kurve die kürzere Länge gezogen wird, und weil es weniger Kraft erfordert, das Kabel mit größerer Länge in fallender Kurvenrichtung, also gewissermaßen abwärts einzuziehen. Liegen irgendwelche Bedenken gegen die Durchführung eines Kabels über Winkelpunkte vor, so ist es ratsamer, das Kabel zu schneiden und eine Lötstelle mehr einzuschalten, als das Kabel in ganzer Länge einzuziehen. Schließlich ist bei Auswahl der Aufstellungsorte von Kabel und Winde noch darauf zu achten, daß sowohl das Zugseil als auch das Kabel in möglichst geradliniger Richtung zum Verlauf der betreffenden Kanalrohre in die Rohrmündungen einlaufen, damit ein Scheuern und Ecken vermieden wird.

5. Zum Einziehen der Kabel in die Kanäle ist in erster Linie eine feste Verbindung zwischen Kabel und Zugseil erforderlich, die gleichzeitig eine Beschädigung des Kabelendes ausreichend verhindert. Zugösen, Kabelklemmen, Greifklauen und sonstige Vorrichtungen der verschiedensten Art sind im Laufe der Kabelpraxis bei den einzelnen Telegraphenverwaltungen in vielfach wechselnder Konstruktion versucht worden. Im allgemeinen ist man jetzt fast überall zu dem sogenannten Kabelstrumpf oder Kabelschlauch übergegangen, da dieser die Unversehrtheit der Kabel, namentlich der unbewehrten Bleikabel, am sichersten gewährleistet. Bei bewehrten Kabeln wird auch wohl von einer aus den flachen Schutzdrähten des Kabels unmittelbar am Ende des Stückes geflochtenen Zugschleife Verwendung gemacht. In England werden bei größeren Längen starker Kabel die Kabel geöffnet und die Kupferleiter auf etwa 10 cm Länge mit dem Bleimantel fest verlötet;

[1]) In der Abbildung sind die vorerwähnten Gleitrollen der Einfachheit wegen fortgelassen.

dieses Verfahren hat den Zweck, den Zug gleichmäßig auf alle Adern zu verteilen, damit die Bleihülle nicht abgezogen wird, es erfordert aber wegen einer möglichen Gefährdung der Isolation große Vorsicht und auch viel Zeit. Das gleiche Ziel wird beim Kabelstrumpf dadurch zu erreichen versucht, daß das Ende der unbewehrten Kabel vor Aufbringung des Schlauches mit einem Holzhammer vorsichtig etwas zusammengeklopft wird, so daß Adern und Bleimantel fest aneinander liegen und gemeinschaftlich den Zug der Kabelwinde aufnehmen [1]).

Der Kabelstrumpf besteht aus einem schlauchförmigen Geflecht von Stahldrahtlitzen, das äußere Ende ist zu einer Öse gearbeitet worden, woran das Zugseil mittels eines Verbindungsgliedes angebracht wird. Die Wirkung dieser Vorrichtung besteht darin, daß die gitterförmigen Drähte sich durch den Zug fest an das Kabel anschließen und es dann mitnehmen; **Abb. 89** zeigt einen solchen Kabelstrumpf. Man hat auch wohl von derartigen Geflechten aus Hanf Gebrauch gemacht, doch haben die Stahlgeflechte größere Festigkeit, namentlich wenn es sich um Nachziehen oder Herausziehen von Kabeln handelt, wenn also gleich zu Anfang eine sehr große Kraft aufgewendet werden muß. Mit Erfolg werden auch offene Stahlschläuche verwendet, die bei ihrer Anlieferung ein breites Drahtgitter darstellen, dessen Maschen

Abb. 89.



an einer Seite in zwei Zugösen auslaufen; das Geflecht wird durch eine Nahtbildung mit dünnen Stahldrähten um das Kabel befestigt. Die doppelte Zugöse bietet den Vorteil, daß in dem offenen Teile, zwischen den gemeinsam vom Zugseil gefaßten beiden Ösen, die Spitze des Kabels nicht so stark gepreßt und daher die Bleiverschlußkappe (S. 44) besser geschützt wird. Derartige offene Geflechte sind namentlich dann erforderlich, wenn das Kabel in einem Zwischenbrunnen mitgezogen werden muß.

Wie bereits erwähnt [2]), werden die Einzelrohre vor dem Einziehen der Kabel vielfach mit einer Bürste eingefettet. Die auf der inneren Gleitfläche des Rohres haften gebliebene Vaseline wird aber in der Hauptsache von der Spitze des Kabels aufgenommen und fortgeführt, so daß dieses Fett für den größten Teil des Kabelstückes nur wenig in Betracht kommt. Zur Vermeidung der Reibung zwischen Kanal und Kabel muß deshalb im Brunnen, vor dem Einlauf in das Rohr, noch durch Bestreichen des Bleimantels mit Fett als Schlüpfmittel nachgeholfen werden. Allerdings wird dieses Fett zum Teil am Rohreintritt und an den Rohrflächen, die das Kabel — und zwar hauptsächlich mit seiner Unterseite — berührt, abgestrichen. Das seitlich am Kabel aufgetragene Fett kommt in geraden Kanälen weniger, in der Hauptsache nur an Biegungsstellen zur Wirkung. Da sich aber das Kabel beim Einziehen mehr oder weniger um seine Achse dreht, so wird doch schließlich auch das ganze Kanalrohr eingefettet werden. Es wird aber nur bei Verwendung recht dickflüssigen Fettes Aussicht vorhanden sein, daß auch bis

[1]) Zu vgl. S. 33 u. 37. — [2]) Zu vgl. S. 220.

an das Ende des Rohres noch eine ausreichende Menge Fett gelangt. Schließlich läuft dann aber jedes Schmiermittel nach und nach am Bleimantel herunter und bettet das Kabel an der Berührungsfläche mit dem Kanal in eine Fettschicht, so daß auch ein späteres Herausziehen wieder erleichtert wird. Das zu verwendende Schmiermittel[1]) muß in erster Linie frei von solchen Substanzen sein, welche den Bleimantel oder etwa den Kanal bzw. dessen inneren Anstrich angreifen, es darf sich nicht zersetzen, soll selbst bei kalter Witterung gut schmierbar sein und auch nach Jahren innerhalb der Rohre noch weich bleiben. Das Einfetten des Bleimantels ist beim Einziehen recht ausgiebig vorzunehmen, es kann aber mit abnehmender Kabellänge ein wenig vermindert werden.

Die im einzelnen besprochenen Vorsichtsmaßregeln müssen um so mehr beachtet werden, je weniger fest der Bleimantel[2]) um die Kabelseele gepreßt ist. Namentlich bei den hochpaarigen Kabeln entsteht dann schon auf der Trommel eine Deformation des Kabelquerschnittes, die bei unzureichender Vorsicht später in den Brunnen beim Umgang um die Rollen Längsrisse hervorrufen kann. Es ist also der Durchgang der Kabel sorgfältig zu beachten, damit ein Reiben oder Quetschen an den Rohrmündungen und Rollen vermieden wird und die Rollen selbst stets ihre richtige Lage behalten; auch Durchgangsbrunnen in ganz gerader Linie sollen nie ohne Aufsicht bleiben. Die Kabel sind so weit durchzuziehen, daß die Verbindungsstellen zwischen zwei aufeinander folgenden Längen noch bequem angefertigt werden können, im allgemeinen kann man für jede Länge etwa $^3/_4$ m auf die Spleißstelle, einschließlich Abfalles, rechnen. In den Brunnen sind die Kabelenden nach Möglichkeit längs der Seitenwände zu lagern, damit die Kabel und Lötstellen bei späteren Arbeiten nicht beschädigt werden. Grundsätzlich ist bei allen Kabeleinzieharbeiten noch zu beachten, daß das Kabel auf der ganzen Länge vom Amt bis zur Aufteilungsstelle überall dieselbe Lage im Kanal erhält, damit in den Brunnen Kreuzungen vermieden werden; es ist auch darauf zu halten, daß zunächst die unteren Rohröffnungen eines Kanals besetzt werden. Um ein Zerreißen der Bleimäntel zu vermeiden, wird man zweckmäßig in den Fällen, wo der Kraftaufwand der Kabelwinde ausnahmsweise besonders gesteigert werden muß, in einem Zwischenbrunnen, den das Kabel bereits durchlaufen hat, mit einer zweiten Winde in gleichem Tempo wie die Hauptwinde mitziehen; das Einziehen kann dann allerdings nur schrittweise mit Unterbrechungen und unter Nachsetzen des Ziehstrumpfes im Zwischenbrunnen vor sich gehen.

Schutz[3]) der Kabelanlagen.

Hinsichtlich der Folgen böswilliger oder fahrlässiger Beschädigungen von dritter Seite unterstehen die Telegraphen- und Fernsprechkabel wie jedes andere Eigentum zunächst den allgemeinen Gesetzen, im besonderen sind zum Schutz dieser Anlagen noch die Vorschriften der §§ 317, 318 und 318a des

[1]) Gut bewährt hat sich in technischer und wirtschaftlicher Beziehung das sogenannte konsistente Kabelfett der Firma H. Wertheim u. Söhne in Weißensee bei Berlin. — [2]) Zu vgl. S. 101. — [3]) Soweit nicht besonders anders angegeben, beziehen sich die erörterten Schutzvorkehrungen auf die Vorschriften der R. T. V.

Reichs-Strafgesetzbuches gegeben. Zur Sicherung der Kabelanlagen sind ferner mit den Regierungen der einzelnen Staaten des Reichs-Telegraphengebietes besondere Grundsätze vereinbart worden, die in der „Anweisung zum Schutze der unterirdischen Telegraphenkabel bei Ausführung von Erd- und Maurerarbeiten auf Kunststraßen und Landstraßen, sowie in den Straßen von Städten und Dörfern" zusammengestellt sind. Die wichtigste Vorschrift darin ist diejenige, nach der vor jeder Inangriffnahme von Aufgrabungen in den Straßen, in welchen Kabel liegen, zunächst deren Lage bei der hierfür zuständigen Telegraphenbehörde festgestellt werden muß. In Erweiterung dieser allgemeinen Bestimmungen sind z. B. in Preußen außerdem in verschiedenen Bezirken durch polizeiliche Vorschriften Anordnungen dahin getroffen worden, daß bei Aufgrabungen durch irgendwelche Unternehmer, selbst der wegeunterhaltungspflichtigen Gemeinden, die polizeiliche Zustimmung zum Beginn dieser Arbeiten nicht eher erteilt werden darf, als bis der Nachweis erbracht worden ist, daß die zuständige Telegraphenbehörde zum Schutze und zur Bewachung etwaiger in den betreffenden Straßen befindlichen Kabelanlagen rechtzeitig vorher eine entsprechende Benachrichtigung erhalten hat.

Die Antwort auf die Frage, was zu schützen ist, ergibt sich aus den Anforderungen des Betriebes: Zunächst die Kabelanlagen selbst, ferner die Betriebseinrichtungen, dann die Gebäude, in welche die Kabel eingeführt sind, und schließlich auch die die Betriebsleitungen bedienenden Beamten und Privatpersonen. Im allgemeinen soll dieser vielfache Schutz, soweit nicht atmosphärische Entladungen in Betracht kommen, schon durch die Gesamtheit der äußeren Schutzvorkehrungen für das Kabel selbst erreicht werden. Das Kabel selbst ist gegen sämtliche Gefahrenmöglichkeiten mechanischer, chemischer und elektrischer Art zu sichern, die Gebäude und Personen dagegen sind hinsichtlich der Kabel nur gegen elektrische Einwirkungen durch atmosphärische Entladungen und Starkstromübergänge zu schützen. Der Schutz gegen induktorische Beeinflussungen kommt im Rahmen dieser Abhandlung nicht in Betracht, ebenso ist bei diesen Betrachtungen von vornherein der Schutz gegen Feuchtigkeit auszunehmen, da diese durch die Konstruktion der Kabel und Spleißstellen einwandfrei ferngehalten werden soll.

In erster Linie muß auf der Strecke für ausreichenden Schutz der verlegten Kabel gesorgt werden, und nur soweit dieser nicht genügend erreicht werden kann, sind noch die einzelnen Kabeladern besonders gegen Gefahren durch elektrische Vorgänge zu schützen. Aber auch solche Schutzmaßregeln gegen Gefahren elektrischer Art — Blitzableiter und Sicherungen — können nicht in den Bereich dieser Besprechung gezogen werden; dieserhalb wird auf die entsprechende Literatur[1]) hingewiesen.

Es liegt auf der Hand, daß die Verlegung der Kabel in besondere Kanäle im allgemeinen das beste Schutzmittel, gleichzeitig gegen mechanische und chemische Beeinflussungen, darstellt. Anders verhält es sich mit den ohne

---

[1]) Zu vgl. Karrass, Geschichte der Telegraphie I., Braunschweig, 1909, 6. Abschnitt; Hersen-Hartz, Die Fernsprechtechnik der Gegenwart, Braunschweig, 1910, 14. Abschnitt; Kempster B. Miller, 30. Kapitel; E. T. Z. 1896, S. 431 und 1899, S. 692; es sei zugleich hingewiesen auf die Ausführungen im Abschnitt VIII, S. 290, über Kabelblitzableiter.

einen solchen Schutz verlegten Erdkabeln. Es ist daher bei diesen Kabeln zunächst zu prüfen, ob die Beschaffenheit des Erdreiches der Haltbarkeit der Isolierhülle nicht etwa nachteilig ist. In dieser Beziehung sind namentlich dann recht sorgfältige Ermittelungen anzustellen, wenn es sich um die Verlegung der gegen chemische Einwirkungen, gegen Gas, Luft und Wärme besonders empfindlichen Guttaperchakabel[1]) handelt. Bestehen derartige Gefahren für ein Kabel, so muß es in geeigneter Weise durch Umkleiden mit genügend langen Rohren aus Eisen oder Steingut ausreichend geschützt werden.

Ist bei Auslegung von bewehrten Bleimantelkabeln solches Erdreich nicht zu vermeiden, das dem Zufluß von Abwässern aus Fabriken usw. ausgesetzt oder mit Bauschutt und organischen Substanzen vermengt ist, so daß die Gefahr einer frühzeitigen Zerstörung des Bleimantels besteht, so sind solche Kabel nicht unmittelbar in den Erdboden zu verlegen, sondern mit gut zu dichtenden Zement-, Steingut- oder Eisenrohren zu umgeben. Röhrenkabel sind gegen chemische Beeinflussungen im allgemeinen nicht weiter zu schützen, nur in den Brunnen sind die Lötstellen und auch die blanken Bleikabel selbst gegen etwaige schädliche Einwirkung von Tropfwässern mit einer unempfindlichen dicken Flüssigkeit, z. B. mit black varnish — einer Teerlösung — zu bestreichen. Die Bleimäntel der in Zementkanäle eingezogenen unbewehrten Kabel werden im allgemeinen ausreichend durch deren inneren Lackanstrich geschützt. Eine Gefahr würde auch wohl nur bei Hinzutritt von Feuchtigkeit entstehen können, denn von trockenem, abgebundenem Zement wird Blei, wie durch Versuche festgestellt ist, anscheinend nicht angegriffen [2]).

Ein besonderer Schutz gegen mechanische Beschädigungen ist nur für Erd- und Flußkabel[3]) erforderlich. Die zu diesem Zwecke bei den einzelnen Telegraphenverwaltungen und Telephongesellschaften gebräuchlichen Mittel und die von den zahlreichen Erfindern und Firmen angebotenen Schutzvorkehrungen sind außerordentlich verschieden. Ihre Anwendung beruht im allgemeinen auf Erfahrung und Gewohnheit, ohne daß man im Einzelfall behaupten könnte, daß eine bestimmte Schutzvorrichtung durchaus die sicherste und auch preiswürdigste sei. Man kann wohl sagen, daß kaum auf dem Gebiete der gesamten Kabeltechnik eine solche, oft geradezu grundsätzliche Verschiedenheit der Ansichten vorhanden ist, wie in der Frage des Kabelschutzes[4]), zumal nicht nur die Anforderungen des Betriebes, sondern auch wirtschaftliche Bedenken maßgebend sind.

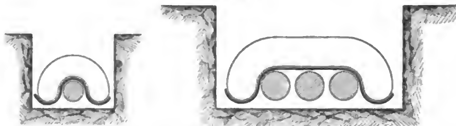
Auch im Bereiche der R. T. V. bleibt diese Frage dauernd ein Gegenstand ernster Erwägungen und vielfacher Versuche. Die im einzelnen an-

[1]) Zu vgl. S. 52 u. 76. — [2]) Es sei hierbei bemerkt, daß in der Literatur — zu vgl. Tonindustriezeitung, Berlin, Jahrgang 4, 5, 7 und 8 — die Urteile über etwaige Gefährdung von Bleirohren durch Zement auseinander gehen. Nach einigen Ansichten soll Zement sogar konservierend wirken. Ein abschließendes Urteil lassen die bisherigen Erfahrungen noch nicht zu, doch scheint immerhin ein Schutz gegen mögliche Einwirkungen durch Zement ratsam. Wenn das Material gut abgebunden (S. 152) ist und keine freien Kalkbasen enthält, und wenn außerdem der verwendete innere Anstrich (S. 154) der Zementrohre frei von organischen Säuren ist, so wird im allgemeinen keine Gefährdung mehr bestehen. — [3]) Wegen Flußkabelmuffen s. S. 202. — [4]) Näheres s. E. T. Z. 1903, Heft 4 bis 10 und 1905, Heft 14 u. 15: J. Schmidt, „Über Kabelschutzhüllen, deren Herstellung und Verlegung".

gebotenen oder anderwärts bereits mit Erfolg verwendeten Schutzmittel werden in jedem Falle praktisch erprobt, sofern sie einen Vorteil zu bieten scheinen. Andererseits wird aber auch wieder den Erfahrungen und Anschauungen der einzelnen örtlichen Behörden und Bauleiter ausreichender Spielraum gelassen. Im allgemeinen ist man bei der billigsten und einfachsten Schutzabdeckung mit Ziegelsteinen geblieben, wie sie für Starkstromkabel ebenfalls in großem Umfange üblich ist. Die Backsteine dienen hierbei in der Hauptsache als Warnungszeichen, damit bei Grabarbeiten vorsichtig vorgegangen wird. Es wird durch die lange Erfahrung als bewiesen angesehen, daß für gewöhnliche Verhältnisse ein derartiger Schutz ausreichend ist. Der angestrebte Zweck wird auch in solch einfacher Weise bei Aufwendung derselben Mittel für Beschaffung und Verlegung von einer anderen Form von Abdeckungen oder Umkleidungen kaum erreicht werden können. Die hauptsächlichsten Nachteile der Backsteinabdeckung sind die Bildung von Fugen zwischen den einzelnen Steinen und ihr leichtes Abhandenkommen bei Aufgrabungen, die Vorteile sind andererseits ihre leichte Ersetzbarkeit bei Beschädigungen usw., sowie der geringe Preis.

Es sind besonders für die Zwecke der Starkstromtechnik eine große Zahl mehr oder weniger brauchbarer Kabelschutzsysteme in die Praxis ein-

Abb. 89a.



geführt worden. Diese haben jedoch in der Schwachstromtechnik keinen rechten Eingang finden können, zumal auch bei dieser das Bedürfnis nach einem Erdkabelschutz verhältnismäßig immer geringer wird. Es soll aber wenigstens noch der sogenannte Kabelpanzer[1]) erwähnt werden, der sich recht gut bewährt und auch mehrfach im In- und Auslande für Telegraphen- und Fernsprechkabel Verwendung gefunden hat. Dieses Schutzmittel unterscheidet sich insofern grundsätzlich von den übrigen Abdeckungen und Schutzhüllen, als es kein fertiges Fabrikat ist, sondern erst unmittelbar an der Verbrauchsstelle hergestellt wird. Der Kabelpanzer wird in einfacher Weise durch Einfüllen von grobem Sand oder Kies mit Zement in billige Jutesäcke gewonnen, die dann unter Zwischenlegen von Dachpappestreifen über die Kabel gelagert werden. Durch einen solchen Panzer wird gleichzeitig ein seitlicher Schutz für die Kabel erreicht. Diese Art der Abdeckung (**Abb. 89a**) stellt sich bei mehreren Kabeln nicht teurer als Backsteinschutz. Sie hat gegen Ziegelsteine noch den besonderen Vorteil, daß die bei unvorsichtigen Grabarbeiten entstandenen Kabelbeschädigungen, die außerdem schon erheblich schwerer verursacht werden, nicht ohne weiteres durch Ersetzen zerschlagener oder

[1]) System der Firma Weiss u. Freytag in Neustadt (Hardt). Diese Abdeckung ist allerdings für Guttaperchakabel nicht anzuwenden, da sie Zement enthält.

Geradelegen verschobener Schutzmittel verdeckt und dadurch die Ersatzansprüche verschleiert werden können.

Wenn die örtlichen Verhältnisse, namentlich Zahl und Umfang der fremden Anlagen in den Straßenkörpern, die Häufigkeit der Aufgrabungen oder sonstige Umstände selbst eine doppelte Lage Ziegelsteine — mit gegenseitig versetzten Fugen — nicht als ausreichend erscheinen lassen, so kann die Schutzabdeckung auch wohl durch Zementhalbrohre — oder Tonrohre für Guttaperchakabel — hergestellt werden. Die Oberkante solcher Schutzrohre erhält zweckmäßig eine dachartige Form, damit sie Pickenhieben besser Widerstand leisten. Bei Durchführung durch kleine Wasserläufe oder sumpfigen Boden werden bei der R. T. V. die Erdkabel unter Umständen mit zweiteiligen gußeisernen Landkabelmuffen gesichert. Wie weit die Flußkabel — ebenso auch die Tunnel- und Brückenkabel — zu schützen sind, ist bei Besprechung ihrer Verlegung (S. 198) bereits erörtert worden.

Die allgemeine Verwendung von Eisenschutzrohren für längere Erdkabellinien kann nicht empfohlen werden, da sie teuer und umständlich anzubringen sind. Wenn die örtlichen Verhältnisse einen erhöhten Schutz erfordern, so ist es schon besser, einen richtigen Kabelkanal herzustellen.

Für Kabelhochführungen muß noch auf eine wiederholt beobachtete Erscheinung aufmerksam gemacht werden, daß nämlich blanke Bleikabel innerhalb der Eisenrohre durch Gefrieren des sich nach und nach in den Rohren ansammelnden Wassers eingedrückt und beschädigt worden sind. Es ist also zweckmäßig, solche Rohre, sofern sie nach Lage der örtlichen Verhältnisse die Ansammlung größerer Feuchtigkeitsmengen begünstigen, oben und unter Umständen auch unten durch Ton, Kitt, Teerstricke oder andere geeignete Materialien fest abzudichten. Ähnliche Vorkehrungen werden in besonderen Fällen auch bei Eisenrohren im Erdboden zweckmäßig sein können.

Für den Umfang der Schutzmaßnahmen an den Telegraphen- und Fernsprechanlagen gegen Gefahren aus Starkstromanlagen sind zunächst die gesetzlichen Bestimmungen maßgeblich. Nach § 12 des Gesetzes über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches vom 6. April 1892 sind elektrische Anlagen, wenn eine Störung des Betriebes der einen Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Teiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung seiner bestehenden Anlage die Störung oder die Gefahr derselben veranlaßt, nach Möglichkeit so auszuführen, daß sie sich nicht störend beeinflussen. Ferner ist ähnlich durch § 6 des auf S. 147 bereits erwähnten Telegraphenwege-Gesetzes bestimmt, daß spätere besondere Anlagen nach Möglichkeit so auszuführen sind, daß sie die vorhandenen Telegraphenlinien nicht stören. Die materielle Rechtslage ist nach diesen Gesetzen also die, daß störende Beeinflussungen und Betriebsstörungen nicht unbedingt, sondern nur nach Möglichkeit zu vermeiden sind.

Es besteht aber jedenfalls nach diesen Reichsgesetzen kein Zweifel darüber, daß grundsätzlich zunächst die späteren Anlagen selbst mit allen Schutzvorkehrungen zu versehen sind, die nach Lage der Verhältnisse überhaupt an ihr angebracht werden können — mit der als selbstverständlich gegebenen Einschränkung, daß der wirtschaftliche Zweck dieser Anlagen nicht gefährdet

wird. Erst wenn solche Mittel keinen genügenden Erfolg haben, sind die weiteren Schutzvorrichtungen oder auch Veränderungen an den Telegraphenanlagen zu treffen. Die Kosten für die im Einzelfalle notwendigen Schutzmaßnahmen haben im allgemeinen die Unternehmer der späteren Anlage zu tragen. Nur zugunsten der Wegeunterhaltungspflichtigen sind durch § 6 des Telegraphenwege-Gesetzes für gewisse Fälle Ausnahmen dahin gemacht worden, daß die Telegraphenverwaltung selbst dann die Kosten zu übernehmen hat, wenn ihre Anlagen die früheren sind.

Soweit es sich um den Schutz der Reichsanlagen gegen spätere Starkstromanlagen handelt, sind für Preußen durch gemeinschaftlichen Erlaß[1] der Minister der öffentlichen Arbeiten und des Innern vom 9. Februar 1904 hinsichtlich der elektrischen Kleinbahnen, sowie vom 28. April 1909 hinsichtlich der sonstigen Starkstromanlagen, die allgemeinen Grundlagen für die im Einzelfalle zu treffenden Schutzmaßregeln gegeben. Die R. T. V. hat sich diesen Anordnungen, welche sich mit der früher geübten Praxis und den entsprechenden Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker ohne wesentliche Unterschiede decken, angeschlossen und sie auch ihrerseits als Grundlage für die zu fordernden Schutzvorkehrungen angenommen. Durch diese Erlasse ist für Preußen noch besonders die Mitwirkung der Polizei bei der Konzessionierung neuer Starkstromanlagen nach vorheriger Anhörung der R. T. V. vorgeschrieben. Denn soweit die Polizeibehörden für den Schutz der Reichsanlagen zuständig sind, haben sie ihn auch von Amts wegen zu gewährleisten. Durch diese Erlasse sind das polizeiliche und das nichtpolizeiliche Zuständigkeitsgebiet streng auseinander gehalten, da naturgemäß zivilrechtliche Ansprüche nicht Gegenstand polizeilicher Vertretung und Vollstreckung sein können. Nach der Reichsgesetzgebung beschränkt sich der polizeiliche Schutz der Telegraphenanlagen gegenüber anderen elektrischen Anlagen auf den allgemeinen Schutz für Leben und Eigentum, also auf den Schutz für den Bestand (die Substanz) dieser Anlagen und auf den Schutz für die Sicherheit (Leben und Gesundheit) des Bedienungspersonals, während der behördliche Schutz des Betriebes gegen störende Beeinflussungen durch andere elektrische Anlagen den Gerichten vorbehalten bleibt, soweit nicht gefährliche Einwirkungen der Starkstromanlagen zu berücksichtigen sind. Es besteht aber hierbei kein wesentlicher Unterschied zwischen dem Schutze späterer Reichsanlagen gegen vorhandene Starkstromkabel oder vorhandener Reichsanlagen gegen spätere Starkstromanlagen, weil die aus dem nahen Verlauf der beiderseitigen Anlagen sich ergebenden Gefahren in beiden Fällen dieselben sind.

Im ganzen bilden folgende, mit der Ausführung usw. von Starkstromanlagen für benachbarte Schwachstromleitungen und deren Bedienungspersonal verbundene Gefahren den Gegenstand der von den ministeriellen Bestimmungen behandelten Schutzvorkehrungen:

1. Berührung der beiderseitigen Leitungen.
2. Wärmewirkungen der Starkstromanlagen.

---

[1]) Die älteren Vorschriften vom Jahre 1904 für elektrische Bahnen sollen demnächst dem neueren Erlaß für die übrigen Starkstromanlagen (zu vgl. E. T. Z. 1909, S. 520) gleichmäßig angepaßt werden.

3. Übertritt von Strom in gefahrdrohender Stärke aus den Starkstromanlagen in Schwachstromanlagen ohne unmittelbare Berührung der Leitungen.
4. Elektrische Einwirkungen in die Erde übergetretener Starkströme auf Schwachstromanlagen.
5. Induktorische Einwirkungen der Starkstromleitungen von gefährlicher Stärke.
6. Mechanische Beschädigung der Schwachstromanlagen bei der Ausführung usw. von Starkstromanlagen.

Der im allgemeinen bestehende Grundsatz, daß die unterirdischen Telegraphen- und Fernsprechanlagen tunlichst entfernt von etwa vorhandenen unterirdisch geführten Starkstromleitungen, wenn angängig auf der anderen Straßenseite, angelegt werden sollen, läßt sich jedoch namentlich in den Städten nicht überall durchführen, es werden daher stets Kreuzungen und Näherungen der beiderseitigen Anlagen entstehen, für welche von der R. T. V. zum Schutze der Telegraphen- und Fernsprechanlagen die bereits erwähnten allgemeinen Vorschriften[1]) gegeben worden sind. Auf die Einzelheiten dieser Vorschriften soll hier nicht näher eingegangen werden.

[1]) Näheres zu ersehen in der „Telegraphenbauordnung" des Reichs-Postamts, Abschnitt I, Abt. 1.

Siebenter Abschnitt.

Kabelspleißung.

Allgemeine Anforderungen.

Zur Verbindung der einzelnen Kabellängen zu einem einheitlichen Ganzen müssen zwischen je zwei aufeinander folgenden Kabelstücken Spleißstellen hergestellt werden. Diese Kabelverbindungen sollen eine gute elektrische Verbindung der einzelnen Kabeladern gewährleisten und die freigelegten Kabeladern in einer besonderen Vorrichtung, der Kabelmuffe, luft- und wasserdicht abschließen.

Die allgemeinen Anforderungen an eine Kabelspleißstelle können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

1. Die metallische Verbindung der einzelnen Adern muß mechanisch so sicher sein, daß auch bei Bewegungen der Kabel eine Trennung oder auch nur Lockerung in dem Zusammenhange nicht eintritt.
2. Der elektrische Widerstand und das Isolationsvermögen der Verbindungsstelle sollen den für die Adern des Kabels zugelassenen äußersten Bedingungen nicht nachstehen.
3. Das zur Ausführung der Adernspleißstelle verwendete Material darf eine schädliche Einwirkung auf das Leitungskupfer oder den Isolierstoff nicht ausüben.
4. Die Möglichkeit einer metallischen Berührung verschiedener Adern muß vermieden werden; die einzelnen verbundenen Adern sollen in der Kabelspleißstelle übersichtlich und auch wieder eng beieinander gelagert sein, damit die ganze Spleißstelle einen möglichst geringen Umfang erhält.
5. Die Kabelmuffe muß mit den Kabelmänteln und Schutzdrähten so luft- und wasserdicht verbunden sein, daß eine Gefahr für den Isolationszustand des Kabels auf jeden Fall vermieden wird.
6. Soweit hygroskopisches Isoliermaterial für die Kabel in Betracht kommt, ist vor dem Abschließen der Spleißstelle durch geeignete Maßnahmen dafür zu sorgen, daß jegliche bei der Anfertigung der Verbindungsstelle etwa in das Kabel gelangte Feuchtigkeit vollständig wieder entfernt wird.
7. Die zur Sicherstellung der Isolation etwa notwendigen Vergußmassen dürfen den Zustand des Kabels nicht gefährden.

Die Verbindung der einzelnen Kabeladern untereinander erfolgt entweder durch eine Lötstelle oder nur durch Kontakt. Eine Lotstelle ist eine solche Verbindung zweier Metallstücke, bei welcher durch das Lot, ein in geschmolzenem Zustande aufgebrachtes Metall oder Metallgemisch von geringerer Schmelztemperatur als die zu verbindenden Metalle, eine Vereinigung dieser beiden Teile erfolgt. Ein Kontakt ist die zur Stromführung bestimmte Berührungsstelle zweier mit einem gewissen Druck gegeneinander gepreßter Körper.

Die Lötstelle ist zunächst im Prinzip als besser und sicherer anzusprechen, da sie eine tatsächlich innige Vereinigung der beiden Drahtenden ist, wogegen der Kontakt nur eine mechanische Berührung darstellt. Die Adernlötstellen werden jedoch ohne gleichzeitige Verwürgung oder Umwickelung der beiden Enden, also ohne vorherige Bildung einer möglichst ausgedehnten und festen metallischen Berührung, gar nicht ausgeführt. Diese Lötstellen stellen also im Grunde eine Vereinigung der beiden Ausführungsformen dar. Andererseits hat es sich aber nicht als notwendig erwiesen, in allen Fällen eine richtige Verlötung vorzunehmen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß eine zweckmäßig angefertigte Würgestelle für den erstrebten Zweck im allgemeinen einen ausreichenden Ersatz bietet und sogar oft vorzuziehen ist, weil bei ihr die Gefahr einer Verletzung der Isolierhülle bedeutend geringer ist, und da auch erhebliche Ersparnisse an Zeit und Material erzielt werden können.

Es werden in der praktischen Kabeltechnik vier verschiedene Verfahren der Adernverbindungen angewendet:

1. Die Adern werden durch Umwickelung mit feinem Kupferdraht fest miteinander verbunden und dann verlötet.
2. Die Adern werden nebeneinander in eine Metallhülse gesteckt und dann gleichfalls durch Lot vereinigt.
3. Die Adern werden gemeinschaftlich in eine Metallhülse gesteckt und mit dieser zusammen mechanisch verklemmt.
4. Die Adern werden durch bloßes Verdrehen miteinander verbunden.

Das erste Verfahren kommt im Bereich der R. T. V. — und ebenso bei den meisten übrigen Verwaltungen — bei Guttaperchakabeln, im übrigen ganz allgemein bei allen Kabeln mit Litzendrähten in Anwendung, das zweite und dritte bei anderen Telegraphenkabeln und bei Fernsprechkabeln mit stärkeren Leitern, das vierte bei Fernsprechkabeln mit Luftraum- und Papierisolation mit einer Leiterstärke bis zu 1 mm. Die einfache Verwürgung (zu 3 oder 4) darf bei Guttaperchakabeln schon wegen der hohen Empfindlichkeit dieses Isoliermaterials gegen scharfe Kanten und Druckstellen nicht angewendet werden.

Ein oft gebrauchtes Schutzmittel für Kabellötstellen und auch für Verbindungsstellen in einzelnen Adern ist das Isolierband. Dieses ist ein kräftiges, mit Isolier- und Füllmitteln (Ozokerit [S. 59], Asphalt usw.) beschwertes Leinenband verschiedener Breite. Die Anforderungen an ein solches, für Telegraphen- und Fernsprechkabel verwendetes Band sind genügende Dauerhaftigkeit und Klebefähigkeit, die auch bei Luft- und Temperaturveränderungen erhalten bleiben müssen und ein Mürbewerden bei Einwirkung von Feuchtigkeit hintanhalten, ferner ausreichende Widerstandsfähig-

keit des Gewebes gegen Zerreißen. Die Klebemasse darf nicht schmieren und soll nicht unnötig dick aufgetragen sein, da das Band sonst zu schwer und im Verhältnis zu teuer wird. Das Isolierband muß gleichmäßig durchtränkt sein, die Füllmasse darf nicht abfärben, das Band selbst soll an den Rändern nicht ausfasern. Es sind schwarze und weiße Isolierbänder im Gebrauch.

Löten[1]).

Bei Herstellung einer guten Lötstelle sind drei Anforderungen zu erfüllen:

1. Das Lötmetall muß gehörig flüssig gemacht sein.
2. Die zu verlötenden Flächen oder Drähte müssen metallisch vollständig rein sein.
3. Diese Flächen oder Drähte müssen während des Lötvorganges gegen Oxydation geschützt werden.

Die zweite und dritte Forderung können entweder jede für sich oder durch ein besonderes Mittel gleichzeitig erfüllt werden.

Der Lötmittel gibt es sehr viele, die in ihrer Brauchbarkeit aber außerordentlich verschieden beurteilt werden; hierbei sprechen allerdings vielfach die Interessen der Lieferanten wesentlich mit. Im einzelnen kann hier nicht näher darauf eingegangen werden; es seien nur einige allgemeine Hinweise gegeben.

Man teilt nach Schlosser die Lötmittel in vier Gruppen ein:

1. Luftabschließende Lötmittel, bei denen der neben dem eigentlichen Lötmetall verwendete Körper nur den Zweck hat, den Zutritt der Luft zu den vorher blank gemachten Metallflächen zu verhüten, also einer Oxydation während des Lötvorganges vorzubeugen. Als solche Mittel kommen für gröbere Lötungen Lehm und Talg in Betracht.
2. Lösende Lötmittel. Die hierhin gehörigen Körper haben die Eigenschaft, die Verbindungen, welche die Vereinigung der beiden Metalle hemmen würden, d. h. Oxyde (Rost), Salze oder Schwefelverbindungen (grüne oder schwarze Überzüge auf dem Kupfer), aufzulösen. Solche Lötmittel sind in erster Linie Borax, phosphorsaure Salze und Fluorverbindungen.
3. Ätzende Lötmittel. Bei diesen kann auf ein vorheriges Blankschaben der zu verbindenden Metallstücke verzichtet werden, da sie nicht nur die auf den Metallen haftenden Rostschichten usw. lösen, sondern auch durch Anätzen des Metalles selbst in zuverlässiger Weise rein metallische Oberflächen schaffen. Dieser Eigenschaft wegen ist die Anwendung ätzender Lötmittel sehr bequem, sie werden daher auch in großen Mengen verbraucht. In diese Gruppe gehören die Mehrzahl der verwendeten Lötwässer, ferner die Salzsäure und das Chlorzink.

---

[1]) Näheres s. Lippmann, „Über Versuche mit Lötmitteln"; E. T. Z. 1907, Heft 36 u. 37, und die sich an diesen Artikel anschließenden Besprechungen 1907 und 1908; ferner E. Schlosser, „Das Löten", Wien 1905. Zu vgl. S. 282.

4. Reduzierende Lötmittel. Dieses sind Stoffe, welche nahe Verwandtschaft zum Sauerstoff haben und daher den sich bildenden Metalloxyden den Sauerstoff entziehen, d. h. sie zu reinem Metall reduzieren. Hierhin gehören vor allem Harze, inbesondere Kolophonium, und ferner Salmiak.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß es möglich ist, das Lötmetall mit dem Lötmittel zu vereinigen, so daß die Lötarbeit wesentlich erleichtert wird, zumal das eigentliche Lot durch die Verbindung mit einem geeigneten Flußmittel leichtflüssiger gemacht und daher auch in die feinsten Vertiefungen eingeführt werden kann. Andererseits aber bringt gerade wieder das größere Fließvermögen bei ungenügender Sorgfalt Gefahren mit sich, da diese Flußmittel auch an solche Stellen gelangen können, von denen sie gerade fern gehalten werden sollen, und dort dann schädliche Einflüsse auf das Kupfer oder auf die Isolierhülle der Kabeladern ausüben.

Ein noch viel umstrittener Punkt ist die Säurefrage. An und für sich wird ein gewisser Säuregehalt des Lötmittels, wie auch oben zur dritten Gruppe angedeutet ist, nicht schädlich sein, im Gegenteil unter Umständen sogar nutzen, da die Säure die Metallstücke durch Ätzung reinigt, und weil dieses in der Regel sogar unter geringerem Metallverbrauch als durch Abschaben erzielt wird. Die Bedenken gegen einen Säuregehalt der Lötmittel können sich in der Hauptsache nur auf etwaige schädliche Nachwirkungen erstrecken. Jedenfalls ist es aber vorteilhaft, wenn die Säure sich beim Lötvorgange möglichst schnell und vollständig verflüchtigt. Im übrigen ist die durch ätzende Mittel entstehende Metallverminderung der Kupferadern derart gering, daß sie gegenüber den Vorteilen der Ätzwirkung, sorgfältige und saubere Arbeitsausführung vorausgesetzt, nicht wesentlich in Betracht kommt. Es ist auch zu bedenken, daß selbst gänzlich säurefreie Lötmittel bei ihrer praktischen Verwendung doch wieder Veranlassung zur Bildung von Säuren geben können. Im allgemeinen muß man vom technischen Standpunkte aus über die Verwendbarkeit von Lötmitteln den Grundsatz aufstellen, daß, bei gleicher sonstiger Brauchbarkeit hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Wirkung und bei derselben Leichtigkeit der Handhabung, dasjenige den Vorzug verdient, welches bei einer möglichen nachlässigeren Handhabung den geringeren Nachteil für den Kupferleiter und das Isoliermaterial bringt. Schließlich muß noch verlangt werden, daß bei Stromdurchgang keine elektrolytischen Wirkungen in den Lötstellen hervorgerufen werden.

Für die Größe des elektrischen Widerstandes einer Lötstelle ist zu berücksichtigen, daß die in der Praxis verwendeten Lötmetalle in der Regel einen ganz erheblich höheren Widerstand als das Leitungskupfer besitzen. Aus der Querschnittsvergrößerung, die aus Gründen der Festigkeit eine verlötete Verbindung erhält, erklärt es sich jedoch, daß gut ausgeführte Lötstellen, wenn überhaupt, so doch nur in geringem Maße eine Widerstandserhöhung in den Stromkreis bringen. Im allgemeinen kann man annehmen, daß die Forderung, eine Drahtverbindung solle keine Vermehrung des Widerstandes hervorrufen, schon durch die bei dem Zusammenwinden der Drähte entstehende Querschnittsvermehrung erfüllt wird. Der Widerstand einer Lötverbindung wird indessen nicht nur durch den Querschnitt, sondern auch durch die Art der Verbindung beeinflußt. In dieser Beziehung sind solche

Lötverbindungen die besten, bei denen der Kontakt zwischen den beiden Drahtenden unmittelbar durch das Lötmetall vermittelt wird, bei denen also das Lot nicht nur die Rolle einer äußeren, kontaktsichernden Muffe zwischen den sich berührenden Leitern spielt, sondern in sämtliche Fugen einfließt.

Als Lötmetall unterscheidet man in der Praxis zwischen Hart- oder Schlaglot und Weich- oder Schnellot. Die Weichlote bestehen aus Legierungen von Blei und Zinn, denen zur Erniedrigung des Schmelzpunktes zuweilen noch Wismut zugesetzt wird. Die Hartlote, die aber für Leitungsverbindungen nicht in Frage kommen, sind eine Legierung von Messing mit Zink oder Zinn, sie haben einen bedeutend höheren Schmelzpunkt und werden für solche Lötstellen verwendet, die auch bei starker mechanischer Beanspruchung (z. B. durch Hammerschläge) noch halten sollen.

Die bei der R. T. V. für die Verbindung der Kabeladern benutzten Weichlote bestehen aus 2 Teilen Zinn und 1 Teil Blei; als Lötmittel werden sogenannte säurefreie Lötwässer benutzt. Zum Verlöten der blanken Bleimäntel mit den Bleimuffen dient ein besonderes, als Lötmörtel bezeichnetes Gemisch, das durch Zusammenschmelzen von 1 Teil Zinn und 2 Teilen Blei, unter geringem Zusatz von Schwefel, Kolophonium und Talg als Reinigungsmitteln, gewonnen wird. Die Masse bleibt durch dieses Herstellungsverfahren bei geringerer Temperatur länger formbar als das gewöhnliche Lötzinn. Teilweise wird zur Verbindung der Kabeladern und zur Ausführung der Arbeiten an den eng aneinander stehenden Lötstiften der Endverschlüsse usw. Röhrenlötzinn verwendet. Dieses ist eine dünne Metallröhre aus Lötmetall mit Kolophoniumfüllung. Letztere schmilzt bei Erhitzung durch den Lötkolben mit dem Zinn und vertritt dann das Lötwasser. Neuerdings ist auch noch ein stabförmiges Kolophoniumlötzinn für die Bleimuffen eingeführt, das sich anscheinend gut bewährt.

In größerem Umfange sind bei der R. T. V. Versuche mit dem Lötmittel Tinol gemacht worden, welches als Paste und auch in Stabform mit Füllung in den Handel kommt. Das Tinol besteht hauptsächlich aus Glycerin und einer Salmiaklösung, denen als Paste fein verteiltes Lötmetall (2 Teile Blei, 1 Teil Zinn) mechanisch beigemengt ist; bei dem Stabtinol ist das Lötmittel innerhalb einer hohlen Lötmetallröhre enthalten. Die Paste wird in der Hauptsache nur als Fluß- und Reinigungsmittel neben dem Tinolstab verwendet. Zu feinen Lötungen ist auch noch ein dünnes Fabrikat als Fadentinol vorhanden. Das Tinol muß vorsichtig benutzt werden, da sonst die durch die Erhitzung des Salmiaks entstehende Salzsäure die Kabeladern angreifen und auch das Glycerin die Isolation gefährden kann.

Ein günstiges Ergebnis haben noch die Versuche erzielt, mit Zinn entsprechend versetztes altes Plombenblei in Klumpen oder Stangen zu gießen und an Stelle des Lötmörtels zu benutzen; es sind dadurch wesentliche Ersparnisse erzielt worden.

Das notwendigste Gerät zum Löten ist der Lötkolben. Derselbe besteht aus einem mit schneidenförmigem Ende versehenen Kupferstück mit eisernem Stiel und Holzgriff. Mittels der erhitzten Schneide wird von dem Lötmetall ein wenig zum Abschmelzen gebracht, auf die zu verlötende Stelle getropft und dann verstrichen. Neuerdings sind auch für die Kabeltechnik elektrische Lötkolben in Anwendung gekommen, doch beschränkt sich deren

Benutzung naturgemäß auf solche Räume, wo Starkstromzuführungen vorhanden sind, also in der Hauptsache auf die Umschalteräume der Fernsprechämter bei Arbeiten an den Endverschlüssen, Lötösen- und Sicherungsstreifen usw.

Isoliermassen.

Zur Ausfüllung von Kabelmuffen und von Abschlußmaterialien werden Isoliermassen verschiedener Art verwendet. Ihre genaue Zusammensetzung wird jedoch von den Fabriken nicht bekannt gegeben. In der Hauptsache sind es Gemenge von Wachs, Ceresin (S. 59), Mineralfetten und anderen nicht hygroskopischen Substanzen. Das Ausgießen der Muffen usw. hat den Zweck, jeglichen Zutritt von Feuchtigkeit zu den Kabeladern sicher fernzuhalten.

Die bei der R. T. V. gewöhnlich verwendete braune Isoliermasse schmilzt bei etwa 80° C und ist dann leicht flüssig. Wenn trotzdem die Erwärmung in der Regel bis auf 200° getrieben wird, so hat dieses seinen Grund darin, daß die Masse sich beim Gießen sehr schnell abkühlt; es würden sonst infolge ihrer vorzeitigen teilweisen Erstarrung nicht sämtliche mit der Masse zu behandelnden Stellen erreicht werden. Eine Erhitzung über 200° soll jedoch vermieden werden, da sonst eine Zersetzung einzelner Bestandteile möglich ist. Hierdurch wird nicht nur die Isolierfähigkeit gefährdet, sondern es können auch bei Vermischung der sich bildenden Gase mit der Luft durch Selbstentzündung Explosionen entstehen. Zum Ausgießen kleiner Muffen für dünne Kabel genügt aber schon eine Erhitzung auf etwa 110°. Bei größeren Muffen, die bis zu 5 kg Masse verbrauchen, ist jedoch die höhere Erwärmung bis auf 200° durchaus notwendig.

Eine zweite noch im Gebrauch befindliche Isoliermasse ist ein schwarzer, mit Chatterton versetzter Stoff, dessen Schmelzpunkt bei etwa 100° C liegt. Dieses Material ist sehr zähe und verbindet sich mit den Adern besser als das braune, es kann aber für Papierkabel nicht verwendet werden, da wegen der Brüchigkeit des mit dieser Masse getränkten Papiers ohne dessen Beschädigung eine Entfernung der Vergußmasse von den Adern nicht möglich ist. Sie hat sich jedoch für dünne Faserstoffkabel gut bewährt; für stärkere als etwa 14 adrige Kabel ist sie allerdings ebenfalls nicht zu empfehlen.

Die Prüfung einer Masse auf Isolierfähigkeit erfolgt in der Weise, daß eine dünne, flüssige Schicht auf eine Bleiplatte aufgetragen, diese nach Erkalten etwa zwei Tage unter Wasser gehalten und dann mit einem empfindlichen Meßinstrument ein etwaiger Stromdurchgang festgestellt wird. Eine andere Prüfung besteht darin, daß man ein Stück Masse, nachdem sie einige Zeit unter Wasser gehalten und dann abgetrocknet worden ist, einer Stichflamme aussetzt; tropft die Masse ruhig ab, so ist sie einwandfrei, ist sie hygroskopisch und hat also Wasser aufgenommen, so wird beim Schmelzen ein Sprühen und Spritzen eintreten.

Die allgemeinen Anforderungen an Isoliermassen gehen dahin, daß diese der Einwirkung der Luft gegenüber beständig bleiben und säurefrei und ohne erhebliche feste organische Beimengungen sind; eine sehr wichtige Bedingung ist ferner, daß sie auch nicht im geringsten Maße Feuchtigkeit anziehen. Eine gute Isoliermasse soll so klebrig sein, daß sie sich nach dem Er-

kalten mit den Muffenwandungen, Bleimänteln und den einzelnen Kabeladern so fest verbindet, daß sie ohne Erwärmung nicht wieder abzunehmen ist. Es könnte sich sonst unter Umständen von außen eindringende Feuchtigkeit zwischen Masse und Muffe sammeln und den Weg durch die Masse hindurch zu den Adern finden. Die Isoliermasse bildet gewissermaßen einen um die Adern und zwischen sie gelagerten wasserundurchlässigen, zusammenhängenden Körper, der beim gewaltsamen Auseinanderbrechen der Muffen eher zerreißen soll, als daß er sich von den von ihm bedeckten Teilen trennt. Eine weitere Forderung an eine gute Isoliermasse geht dahin, daß sie beim Erhitzen keine Dämpfe bilden darf, durch welche die Gesundheit der Arbeiter gefährdet werden kann. Bei denjenigen Kabeln, die für das Druckluftverfahren (s. Abschnitt IX) vorgesehen sind, muß ganz besonders in Anspruch genommen werden, daß die zu den Abschlußmaterialien zu verwendende Isoliermasse recht dicht und fest genug ist, um dem andrängenden Luftstrom den Durchgang zu verwehren; das Ausgießen solcher Endverschlüsse usw. hat daher mit erhöhter Sorgfalt zu geschehen. Bei jedem Ausgießen ist auch die Vertreibung der durch die Masse verdrängten Luft nach außen ein wichtiges Erfordernis.

Die zum Ausgießen der Kabelenden [1]) in der Fabrik gebräuchlichen sogenannten Imprägniermassen haben nicht dieselben guten Eigenschaften wie die eigentlichen Isoliermassen. Sie enthalten vielfach Vaseline oder ähnliche leichtflüssige Substanzen und haben sehr niedrige Fließgrenzen. Es ist die Erfahrung gemacht worden, daß sie sich mit den Isoliermassen nicht genügend verbinden, daß sie diese vielmehr teilweise auflösen und dadurch die Isolation in den Kabelmuffen beeinträchtigen. Diese Masse wird daher zum Ausgießen der Kabelmuffen nicht mehr verwendet, dagegen ist sie zum Abspülen der mit Isoliermasse behafteten Kabeladern, z. B. beim Öffnen von Lötstellen, sehr zweckmäßig.

Zur Ausfüllung der Muffen und zum Abdichten der Kabel ist vielfach auch noch Asphalt, am besten in einer Mischung mit Ölen als Goudron besonderer Zusammensetzung, erforderlich. Das Material darf bei Kälte nicht reißen, es fließt in der üblichen Mischung bei etwa 140° C.

Kabelmuffen.

Zum äußeren Schutze der Kabelspleißstellen gegen mechanische Beschädigungen und gegen die Einwirkungen von Luft und Feuchtigkeit dienen die Kabelmuffen. Je nachdem diese Muffen zwei Kabel von gleicher Adernzahl oder ein stärkeres Kabel mit mehreren schwächeren verbinden, heißen sie Verbindungsmuffen oder Verteilungsmuffen. Die Verteilung erfolgt zwei-, drei- oder vierfach.

Bei der R. T. V. sind drei Formen von zweiteiligen Kabelmuffen gebräuchlich:

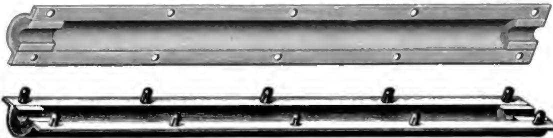
1. Eisenblechmuffen für Guttaperchakabel.
2. Gußeiserne Muffen zur Verbindung der übrigen bewehrten Kabel.
3. Muffen aus Walzblei für unbewehrte Kabel.

---

[1]) Hiermit ist nicht zu verwechseln die Imprägnierung des Isolationsmaterials der Kabeladern (s. S. 30).

Letztere beiden Muffen werden als Verbindungs- und Verteilungsmuffen verwendet. Früher waren die gußeisernen Muffen verschieden geformt, je nach ihrer Verwendung für Telegraphenfaserstoff- oder Fernsprechpapierkabel. Dieser Unterschied ist jedoch fortgefallen, da die jetzige Bauart der

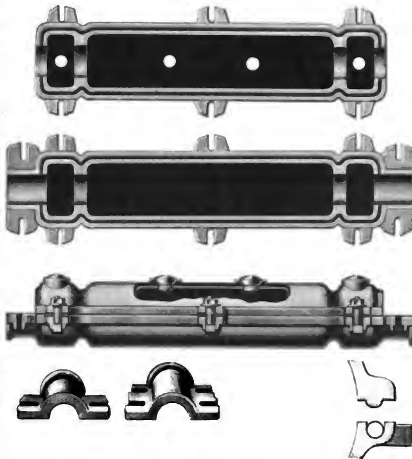
Abb. 90.



Muffen eine Verwendung für beide Arten von Kabeln gestattet. Die Unterscheidung erfolgt nur noch nach ihrer Größe.

Die Guttaperchakabelmuffe besteht aus zwei halbrohrförmig gebogenen, verzinkten Eisenblechen mit rechtwinklig abgebogenen Rändern; **Abb. 90** zeigt eine solche Muffe der R. T. V. Die Ränder des einen Bleches tragen Stifte, die des anderen sind mit entsprechenden Löchern versehen; die beiden Bleche werden durch Aufeinanderlegen und Einschlagen von eisernen Keilen in die Ausschnitte der Stifte zu einem festen Rohre verbunden. Die Öffnungen der Rohrenden sind zum besseren Festhalten der Kabel durch eingelötete, halbkreisförmige Eisenstücke eingeengt (vgl. Abb. 94).

Abb. 91.



Die gußeisernen Muffen bestehen aus Unterteil, Oberteil, dem Material zur Abdichtung und den Schellen zum Festlegen der Kabelenden. Früher wurden die Muffenränder abgeflacht und durch zwischengelegte, der Form der Flanschen entsprechende breite Gummistreifen gedichtet, wie z. B. aus Abb. 97 ersichtlich ist. In neuerer Zeit werden jedoch die Muffenflanschen mit Rillen zur Aufnahme von zylindrischen Gummischnüren oder geteerten Jutetrensen versehen, da die Erfahrung gezeigt hat, daß auf diese Weise die Dichtung sicherer erfolgt. **Abb. 91** stellt

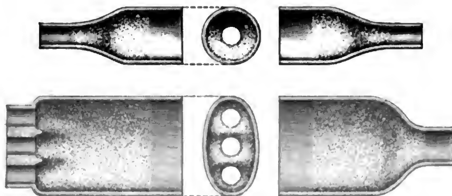
eine solche Verbindungsmuffe der R. T. V. in ihren einzelnen Teilen, sowie einen Schnitt durch die Muffendichtung dar.

Die gußeisernen Muffen enthalten eine zur Aufnahme der eigentlichen Verbindungsstelle bestimmte mittlere Hauptkammer und für jede zur Einführung eines Kabels dienende Halsöffnung eine seitliche Asphaltkammer. Die Oberteile der Hauptkammern haben bei den Verbindungsmuffen zwei Eingußöffnungen, bei den Verteilungsmuffen wird außerdem auf der Verzweigungsseite der Hauptkammern noch ein weiteres Eingußloch — im ganzen also drei — angebracht; entsprechende Öffnungen erhalten die Asphaltkammern. Nach Verschrauben und Vergießen der Muffen werden die Löcher durch Messingschrauben fest verschlossen. Für die Wahl der Muffen kommen die Maße des äußeren Umfanges der unbewehrten Kabel in Betracht, geringe Unterschiede werden durch Bleieinlagen ausgeglichen. Die Maße der verschiedenen Muffensorten unterscheiden sich je um 1 cm in der Halsöffnung, und zwar ebensowohl auf der Haupt- als auf der Verzweigungskabelseite. Die Hauptkammer ist bei den Verteilungs- und Verbindungsmuffen derselben Halsweite von gleicher Größe. Zwar ist bei den Kabelverzweigungen jede einzelne Teilverbindung kürzer als eine unverzweigte Verbindungsstelle des Hauptkabels, aber der dadurch gewonnene Raum wird wieder bei der Aufteilung des starken Kabels zur Vermeidung einer gegenseitigen Überdeckung der Zweigverbindungen gebraucht. Die Weite der Kammern ist so gewählt, daß ihre Wände von den stärksten hineingehörigen Spleißstellen überall mindestens 1 cm entfernt bleiben. Die äußeren Halsöffnungen haben die Bewehrung der Kabel aufzunehmen und sind zu diesem Zwecke allgemein um 10 mm weiter angenommen als die inneren, welche nur die Bleimäntel fassen sollen. Für die Asphaltkammern ist eine einheitliche Länge von 40 mm gewählt, da bei starken und schwachen Kabeln die gleiche Strecke geschützt werden muß; die Weite ist so bemessen, daß der Asphaltring eine Stärke von 15 mm erhält. Dieses Maß genügt auch bei starken Kabeln, um das leichte Herumfließen der heißen Asphaltmasse um den Bleimantel zu sichern. Die Rillen der Muffen verlaufen parallel mit den Muffenrändern und münden in die äußeren Halsöffnungen neben den Asphaltkammern; bei den neuesten Formen ist durch eine etwas veränderte Konstruktion (Abb. 101) dafür gesorgt worden, daß der dickflüssige Asphalt die Gummischnur oder Jutetrensen noch sicherer luftdicht gegen die Asphaltkammern abschließt, so daß sich die von außen etwa eindringende Feuchtigkeit nicht an der Schnur in die Hauptkammer hinein durchzusaugen vermag. Die Wandstärke der gußeisernen Muffen beträgt allgemein 6 mm. Die Muffen sind innen und außen mit einem haltbaren schwarzen Lacküberzug versehen.

Die Walzbleimuffen werden aus Bleimantelmaterial ohne Naht hergestellt. Diese Muffen bestehen ebenfalls aus zwei Hälften, die allerdings nicht in der Längsrichtung, wie die Eisenmuffen, sondern in der Querschnittsrichtung zusammengesetzt werden. In **Abb. 92** ist je eine Verbindungs- und Verteilungsmuffe dargestellt (vgl. Abb. 105 u. 106). Die Halsöffnungen der Muffen sind, von cm zu cm steigend, dem Umfange der Bleimäntel angepaßt. An den inneren Öffnungen hat die eine Muffenhälfte — bei Verteilungsmuffen die zur Aufnahme des Hauptkabels dienende Hälfte — zum Hineinstecken in die andere Hälfte einen um die doppelte Wandstärke geringeren

Durchmesser. Beide Hülsen werden miteinander und mit dem Bleimantel verlötet; um dieses zu erleichtern, sind die Ränder der Muffen gut verzinnt. Die Stärke der Muffenwandung beträgt bei den kleineren Formen 2,5 mm, bei den größeren bis zu 4 mm. Die inneren Abmessungen und die Länge

Abb. 92.



der Muffen richten sich nach dem Umfange der verschiedenartigen Spleißstellen. Der Einheitlichkeit halber sind die gleichen Kammergrößen wie für die gußeisernen Muffen mit denselben Halsweiten vorgesehen. Zwischen den einzelnen Öffnungen der Verteilungsmuffen sind 10 mm breite Stege vorhanden, damit sie sich dichter an die Bleimäntel anschließen und die Verlötung erleichtert wird. Die Länge der Muffenhälse steigt mit dem Kabeldurchmesser.

Lötstellen in Guttaperchakabeln[1]).

Zur Anfertigung einer Lötstelle in Guttaperchakabeln wird um die beiden Kabelstücke, 50 cm vom Ende entfernt, je ein Bund von Bindedraht fest herumgelegt und die äußere Jutehanfumspinnung bis zu den Bindedrahtbunden abgeschnitten. Hierauf werden die Schutzdrähte zurückgelegt, über die Bindedrahtbunde gebogen und hinter diesen ebenfalls abgeschnitten, so daß die Enden einen die Bindedrahtbunde bedeckenden Kranz bilden. Endlich wird die innere Jutehanfumspinnung der Kabelseele bis zu der angegebenen Stelle abgewickelt, aber nicht beseitigt, weil sie nach Verbindung der Kabeladern wieder verwendet werden soll. Nachdem die Guttaperchadrähte mit Naphta gehörig gereinigt sind, wird die Guttaperchaschicht von beiden Leitungslitzen auf eine Länge von 4 bis 5 cm vorsichtig entfernt. Die Litzendrähte sind nunmehr einzeln mit feinem Schmirgelpapiere zu reinigen und sodann mit Lötwasser und Lötzinn zu einem Ganzen zu verlöten, wobei besonders darauf zu achten ist, daß keine Überhitzung oder Verbrennung der Guttapercha dieser oder einer anderen Ader vorkommt (Abb. 93 a).

Die verlötete Litze wird nach dem Erkalten auf ungefähr 2 cm abgeschrägt (b). In derselben Weise wird die entsprechende Ader des anderen Kabelendes bearbeitet. Dann sind die abgeschrägten Flächen der beiden Litzen fest zusammen zu legen und zu verlöten (c). Nach Erkalten wird diese Verbindungsstelle geglättet und in ihrer ganzen Länge mit dünnem, ver-

[1]) Entsprechend den Vorschriften der Telegraphenbauordnung der R. T. V.

zinntem Kupferdraht in dicht nebeneinander liegenden Windungen umwickelt. Die Umwickelung (d) wird in ihrer ganzen Länge ebenfalls verlötet, worauf in derselben Weise darüber eine zweite Umwickelung hergestellt wird, die an beiden Enden um etwa 7 mm über die erste hinausragt. Von der zweiten Umwickelung sind nur die beiden über die erste hinausgreifenden Enden zu verlöten (e), so daß die zweite Lage des feinen Kupferdrahtes in der Mitte lose bleibt und eine Verbindung zwischen den beiden Leitungsadern bildet, falls die Verlötung der Litzen nachgeben sollte.

Alsdann erfolgt nach Verbindung sämtlicher Leitungsadern das Auftragen des Isoliermaterials. Zunächst wird die Guttapercha der beiden Aderenden nach Reinigung und Erwärmung so weit nach der Lötstelle gezogen, daß sie bis zum Anfange der verlöteten Enden der zweiten Drahtumwickelung reicht. Dann wird Chattertoncompound (s. S. 71) in Stangenform erwärmt, durch Hin- und Herrollen in dünner Schicht auf die Guttapercha und die verlötete Kupferlitze längs der ganzen Verbindungsstelle gebracht und mit einem Glätteisen so bearbeitet, daß sie die vorhandene Guttaperchaschicht völlig bedeckt und gleichmäßig umhüllt (f). Zur weiteren Isolierung der Verbindungsstelle wird ein Stück erwärmte, 2,5 mm starke Guttaperchaplatte von ungefähr 3 bis 4 cm Breite auf die gleichfalls angewärmte Lötstelle derart gelegt, daß die beiden bis zur Verbindungsstelle gebrachten Enden der die Litze umgebenden Guttaperchahülle noch überdeckt werden. Darauf ist der Guttaperchastreifen an die Litze anzudrücken, so daß seine Ränder an deren Oberseite zusammentreffen, der überschüssige Teil des Streifens und die überstehenden Ränder sind dicht über der Lötstelle abzuschneiden, die Naht ist zuzudrücken und hierbei die unter der Guttaperchaplatte etwa noch vorhandene Luft heraus zu pressen; darauf ist mit dem warmen Glätteisen die Naht gut zu verschließen.

Die Enden der neuen Umhüllung werden nun mit den unversehrt gebliebenen Enden der Guttapercha der Leitungsadern in innige Verbindung gebracht, alsdann wird die ganze Lötstelle wieder erwärmt und geknetet, wobei namentlich darauf zu achten ist, daß die runde Form der Lötstelle erhalten bleibt.

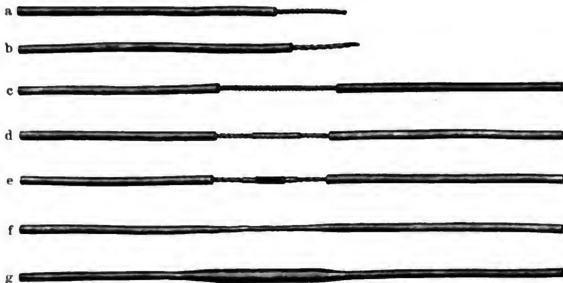
In gleicher Weise wird alsdann ein zweiter und schließlich noch ein dritter Guttaperchastreifen um die Lötstelle festgedrückt und geglättet, nachdem jedesmal vorher die erwärmte Stange Chatterton über die ganze Verbindungsstelle gerollt ist. Die zweite und dritte Lage Guttapercha sollen an jedem Ende etwa 1 cm über die vorhergehende übergreifen. Die Aufbringung des weich gemachten Chattertons zwischen je zwei aufeinander folgenden Schichten Guttapercha bezweckt, durch die Klebrigkeit dieser Masse ein festes Aneinanderhaften der Guttaperchaschichten zu erzielen.

Zum Schluß wird die Stange noch einmal gleichmäßig über die ganze Lötstelle gerollt, diese nochmals erwärmt und die aufgetragene Masse sorgfältig verarbeitet (g). Endlich wird die Lötstelle zum letzten Male erwärmt und mit der gut befeuchteten inneren Handfläche kräftig gerieben. Eine gute Verbindungsstelle, deren Länge ungefähr 15 bis 18 cm betragen soll, darf sich in ihrer Stärke nicht wesentlich von dem übrigen Teile der Adern unterscheiden; die metallische Verbindung der Leiter muß eine voll-

ständig innige sein. **Abb. 93** zeigt den Werdegang einer Guttaperchalötstelle.

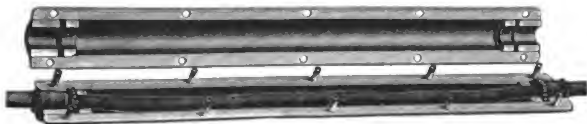
Sind in dieser Weise sämtliche Adern miteinander verbunden, so wird die innere spiralige Hanfumspinnung des Kabels wieder hergestellt. Hierzu ist zunächst die bis an die Bindedrahtbunde abgewickelte Jute zu verwenden, über welche noch neue Jute bis zur erforderlichen Stärke der Kabelseele umgewickelt wird. Damit die von den Schutzdrähten entkleidete und infolgedessen wenig widerstandsfähige Lötstelle nicht beschädigt werden kann, wird

Abb. 93.



sie durch die bereits beschriebene Lötmuffe geschützt. Hierbei ist besonders zu beachten, daß die umgebogenen Schutzdrähte sich an jedem Ende der Muffe fest an die eingelöteten Eisenstücke anlegen, ohne daß die Adern in der Muffe straff gespannt sind, damit ein auf das Kabel wirkender Zug sich nicht auf die Lötstelle überträgt. Andererseits darf die Verbindungsstelle,

Abb. 94.



einschließlich der Schutzdrahtkränze, nur 5 bis höchstens 10 mm länger sein als der Raum in der Muffe, weil sonst die Adern keinen Platz haben und beim Aufeinanderlegen der Muffenhälften gedrückt werden würden. Beim Fertigen von Lötstellen in solchen Kabeln, welche einen Zug auszuhalten haben, muß in noch höherem Maße als sonst dafür gesorgt werden, daß die auf Zerreißen wirkende Kraft sich niemals auf die Verbindungsstelle selbst erstrecken, sondern nur die Schutzhülle und die Lötmuffe treffen darf. In **Abb. 94** ist eine in die Kabelmuffe eingelegte Lötstelle dargestellt; diese Muffe hat zur größeren Sicherheit an den beiden Enden jedes Teiles zwei Eisenringe (statt eines in der Abb. 90).

Die hauptsächlichsten Fehler, mit denen Guttaperchalötstellen behaftet sein können, sind folgende:

1. Schlechte Zusammenspleißung der Adern, namentlich hervorgerufen durch Knicke im Kupferdraht und durch einzelne hervorstehende Enden.
2. Exzentrische Lage des Kupferdrahtes, verschuldet durch ungleichmäßiges Verteilen, Kneten und Verarbeiten der Isolierschicht.
3. Luftblasen, durch unvorsichtiges Andrücken und Schließen der Guttaperchaplatten herbeigeführt.
4. Verbranntes Isoliermaterial, auf Überhitzung durch nachlässigen Gebrauch der Lötlampe zurückzuführen.
5. Abblättern der Isolierumhüllung, verursacht durch zurückgebliebene Feuchtigkeit, sowie durch Mangel an Reinlichkeit.

Zur Aufteilung von Guttaperchakabeln sind keine besonderen Muffen vorgesehen. Für solche Fälle, die wohl noch in älteren Stadttelegraphenkabeln vorkommen, sind gußeiserne Verteilungsmuffen passender Halsweite mit gutem Erfolge verwendet worden; ein Ausgießen der Muffen ist wegen der damit für die Guttapercha verbundenen Gefahr besser zu unterlassen. Hiergegen sind jedoch keine Bedenken zu erheben, zumal auch die eigentlichen Guttaperchakabelmuffen selbst nicht ausgegossen werden und weniger dicht schließen, als gut abgedichtete eiserne Muffen.

Die Flußkabel werden zwar für gewöhnlich in einem Stücke beschafft und ausgelegt, es kann jedoch unter Umständen auch erforderlich werden, das Kabel in mehreren Stücken liefern zu lassen und diese durch Lötstellen miteinander zu verbinden.

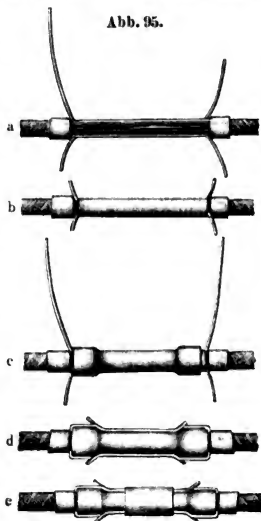
Das Verspleißen der Enden zweier Guttapercha-Flußkabel wird im allgemeinen ebenso ausgeführt, wie es vorstehend für Guttapercha-Erdkabel beschrieben ist. Da jedoch die Flußkabel mehr auf ihre Festigkeit gegen Zerreißen in Anspruch genommen werden, als Erdkabel, so gewährt die Muffe allein nicht genügenden Schutz für die Lötstelle. Die erforderliche Sicherheit wird dadurch geschaffen, daß die eisernen Schutzdrähte des Kabels, welche bei Erdkabeln auf eine gewisse Entfernung zu beseitigen sind, hier in besonderer Weise wieder verbunden werden und dadurch jeden Zug, der etwa auf das Kabel wirken sollte, von der eigentlichen Lötstelle fernhalten.

Nachdem die beiden verlegten Kabelenden auf ein Boot geholt worden sind, wird jedes 75 cm von der Spitze mit 3 mm starkem, verzinktem Eisendraht fest umwickelt. Hierauf werden die äußere Jutehanfumspinnung, sowie die Schutzdrähte und die innere Jutehanfumspinnung vorsichtig bis zu dem Drahtbunde abgewickelt und zurückgebogen. Die freigelegten Leitungsadern sind bis auf 25 cm von den Drahtbunden ab zu verkürzen und dann beide Kabelenden in eine Spannvorrichtung zu bringen.

Die Verbindung der isolierten Leitungsadern und die Herstellung der Hanfumpackung erfolgen nunmehr in gleicher Weise wie bei Landkabeln. Hierauf werden die zurückgebogenen Schutzdrähte in der Weise über die Verbindungsstelle gelegt, daß sie zwei Lagen übereinander bilden und daß zu jeder Lage die Hälfte der Schutzdrähte jedes Kabelendes verwendet wird. An den Drahtbunden werden die mit ihren Enden über die Lötstelle hinweg-

ragenden Schutzdrähte hakenförmig aufgebogen (**Abb. 95a**). Innerhalb dieser vom Kabel senkrecht abstehenden Schutzdrähte ist dann die ganze Verbindungsstelle mit 4 mm starkem Draht fest und dicht zu umwickeln (Abb. 95 b), so daß die aufgebogenen Schutzdrähte an diesem Bunde einen festen Widerstand finden, wenn auf das Kabel ein Zug ausgeübt wird. Hierauf werden die noch freien Enden der Schutzdrähte zurückgebogen und fest an die innere Umwickelung geschlagen (Abb. 95d). Damit die Drähte nicht einen zu scharfen Winkel bilden und die Eisenfasern zu sehr auf Festigkeit in Anspruch genommen werden, sind vorher an den Enden des Umwickelungszylinders (Abb. 95c) auf die bereits vorhandene Drahtschicht noch einige Umwickelungen aus 4 mm-Draht aufzubringen. Um die umgeschlagenen Enden noch gegen Aufbiegen zu schützen, werden sie, wie Abb. 95e zeigt, mit starkem Draht fest umwickelt. Die nunmehr fertige Verbindungsstelle wird in der ganzen Länge mit Jutehanf, unter Wiederverwendung der zu Anfang abgewickelten Jutehanfumspinnung, dicht umgeben und dann mit Asphalt bestrichen. Eine solche Spleißstelle bietet — vorausgesetzt, daß sie mit peinlicher Sorgfalt ausgeführt ist — für gewöhnlich ausreichende Sicherheit.

Abb. 95.



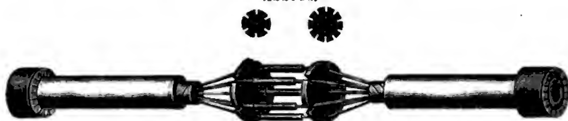
Lötstellen in Faserstoffkabeln.

Nachdem die Bewehrungsdrähte an den Kabelenden mit Bindedraht abgebunden und abgeschnitten sind, und nachdem der Bleimantel auf eine solche Länge entfernt worden ist, daß er etwa noch 1 cm in die Mittelkammer der Muffe hineinreicht, werden die einzelnen Adern von dem umhüllenden Isoliermaterial so weit befreit, als es für die Anfertigung der Lötstellen notwendig ist. Bei den Kabeln mit Papier- und Gewebestreifenisolierung (s. Abb. 20) sind die Leitungsdrähte vorsichtig aus ihren Falten zu heben und die gefalteten Bänder abzuschneiden. Bei Gespinstadern werden die isolierenden Faserstoffe abgebunden, damit die Faser sich nicht aufdrehen kann. Die einzelnen Adern werden durch zwei besondere Stabilitscheiben mit 4 cm gegenseitigem Abstand auseinander gehalten, wie aus **Abb. 96** zu ersehen ist. Bei Faserisolierung soll dieses Material bis zu den Scheiben auf den Adern belassen bleiben. Nachdem die Kupferdrähte in die Bohrungen und Nuten der Stabilitscheiben eingefügt, gerade gerichtet und die zu verbindenden Kabel in der durch die Zählader gegebenen Adern-

folge einander gegenüber befestigt sind, erfolgt die metallische Verbindung der zusammengehörigen Adern mit Hilfe von Kupferröhrchen. Die Länge dieser Röhrchen beträgt 17 mm, ihre lichte Weite richtet sich nach der Stärke der Leitungsdrähte; es sind zwei Sorten gebräuchlich, für Drähte von 1,5 mm und von 2 mm Durchmesser. Die Röhrchen sind der Länge nach aufgeschlitzt, um das Eindringen des Lotes zu erleichtern. Die Verlötung der zusammengehörigen Adern erfolgt mit Kolophoniumlötzinn oder mit Fadentinol. Beim Verspleißen ist vorsichtig mit der innersten Ader zu beginnen. Es hat sich als recht zweckmäßig erwiesen, unter die einzelnen anzufertigenden Lötstellen ein Stück festes Papier oder anderes Material zu legen, damit etwa abfließendes Lötzinn nicht zu anderen Adern gelangen kann.

Vor der Verbindung der Adern in den Telegraphenkabeln ist noch in einfacher Weise mittels Fernhörers festzustellen, ob die Adernfolge richtig ist. Eine solche Prüfung muß auch bei Lötarbeiten in besetzten Kabeln, sowie bei allen Umschaltungen erfolgen. Zur größeren Sicherheit sind auch freigeschaltete Adern zu prüfen, ob nicht etwa Adernverwechselungen stattgefunden haben. Zur Erleichterung der späteren Feststellung der einzelnen Adern werden um dieselben noch Nummernbleche gelegt.

Abb. 96.

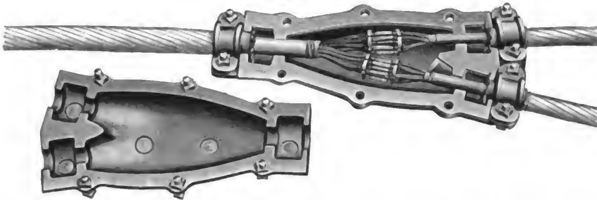


Nach Fertigstellung der eigentlichen Spleißstelle wird diese in vorsichtiger Weise mit flüssiger, auf 200° C erwärmter Isoliermasse gründlich abgedämpft, um jede Spur von Feuchtigkeit, die bei der Herrichtung und Verlötung des Kabels auf die Adern gelangt sein kann, zu entfernen. Diese Abdämpfung muß von den Seiten zur Mitte der Lötstelle hin erfolgen, weil sich hier am meisten Feuchtigkeit bildet. Diese würde sonst zum Teil nach den Enden gedrängt werden, dort unter den Bleimantel gelangen und dann nur schwer zu entfernen sein. Mit dem Abdämpfen ist so lange fortzufahren, als sich noch Schaumbläschen an der Oberfläche der Adern zeigen. Nicht zu verwechseln sind hiermit die etwa in der aufgefangenen Flüssigkeit entstehenden Schaumblasen, da diese großenteils durch die beim Abfließen aufgenommene Luft entstehen. Alsdann wird die gußeiserne Lötmuffe so um das Kabel gelegt, daß die Lötstelle genau in der Mitte der Hauptkammer liegt, damit sie überall von einer gleichmäßig starken Schicht Isoliermasse umgeben werden kann. Der Bleimantel muß, unter Umständen nach gehöriger Verstärkung durch aufgelötete Bleistreifen, die innere Öffnung der Asphaltkammer vollständig ausfüllen. Die abgebundenen Bewehrungsdrähte sollen durch Umwickelung mit Isolierband (s. S. 235) in der äußeren Öffnung dicht abgeschlossen sein. Zur weiteren Sicherung der Lötstelle gegen Zug kann man die Bewehrung auch in Kranzform gegen die innere Asphaltkammerwand anlegen. Vor dem Aufbringen und Verschrauben der oberen Muffenhälfte ist sorgfältig auf gute Lagerung der Dichtungsmittel (Gummi oder

Jute) zu achten; die Jutetrense ist vor Einlegung in die Muffe zweckmäßig noch in heißer Isoliermasse zu tränken. **Abb. 97** zeigt eine Verbindungslötstelle zum Übergange von einem 14 adrigen Faserstoffkabel auf zwei 7 adrige Kabel.

Es folgt nun das Ausgießen der Lötstelle. Hierzu ist die Muffe äußerlich tüchtig anzuwärmen, damit die einfließende Masse sich nicht sofort wieder abkühlt. Diese würde anderenfalls nicht in alle feinen Zwischenräume dringen, vielmehr Spalten und Risse bilden und somit den Zutritt von Feuchtigkeit zu den Kabeladern begünstigen. Das Anwärmen der Muffe ist schon aus dem Grunde erforderlich, weil sich sonst bei dem Ausgießen an der Innenseite der kalten Wände Feuchtigkeit aus der Luft niederschlagen könnte; hierdurch würde aber die innige Verbindung der Vergußmassen mit den Kammerwänden vereitelt werden. Zum Anfüllen der Hauptkammer wird die Isoliermasse vorsichtig abwechselnd in die einzelnen Muffenöffnungen gegossen, um das vollständige Entweichen der Luft und die gleichmäßige Füllung zu erleichtern. Hierbei ist namentlich ein zu schnelles

Abb. 97.



Eingießen zu vermeiden, weil dadurch leicht Luftblasen in der Kammer entstehen können. Mit dem Nachfüllen ist so lange fortzufahren, bis ein Nachsenken der erkaltenden Masse in keiner Öffnung mehr beobachtet wird, die Masse also vollständig erstarrt ist. Man muß auch darauf achten, daß die flüssige Isoliermasse in den Öffnungen gleichmäßig hoch zu stehen kommt; ist dieses nicht der Fall, so liegt die Muffe nicht wagerecht und ist zunächst zu richten. Nach vollständiger Füllung werden die Eingußöffnungen mit den vorher gut erwärmten Messingverschlußschrauben verschlossen und dann zur besseren Dichtung noch mit Asphalt bestrichen.

In ähnlicher Weise sind bereits vor dem Einfüllen der Isoliermasse zunächst die Seitenkammern mit Asphalt vorsichtig ausgegossen worden. Das vorherige Ausgießen der Asphaltkammern geschieht aus dem Grunde, weil diese zähe Masse schwerer an dem Bleimantel vorbei in die Mittelkammer dringt, als umgekehrt die leicht fließende Isoliermasse nach außen.

Bei Kabeln mit Gespinstisolierung kann von der Verwendung der Stabilitscheiben abgesehen werden, da ihre Konstruktion eine Berührung der blanken Adern nicht begünstigt. Erforderlich ist ein anderes Verfahren ohnehin grundsätzlich bei allen Kabeln mit mehr als 14 Adern, da die Adern der inneren Lagen sonst später bei Fehlerbeseitigungen nicht genügend zugänglich sind und ihre Verspleißung ohne Gefahr für die anderen Adern

nicht zu erneuern sein würde. Für solche Fälle wird von der Verlötung der Adern überhaupt abgesehen. Die Verbindung zweier Kabeladern erfolgt vielmehr lediglich durch Zusammenpressen eines verzinnten prismatischen Kupferröhrchens von 1,5 cm Länge, in welches die beiden blanken Adern nebeneinander gesteckt worden sind. **Abb. 98** zeigt eine solche Zwickstelle

Abb. 98.



nach der Ausführung bei der R. T. V. Die gegenseitige Isolierung der Verbindungsstellen wird durch übergeschobene getränkte, vorher sorgfältig getrocknete oder abgebrühte Papierröhrchen [1]) bewirkt; diese werden vor dem Verbinden der beiden Adern auf eine derselben geschoben (zu vgl. Abb. 99). Die Verbindungsstellen sollen auf die ganze Kammerlänge gleichmäßig verteilt werden; die Kabel sind hiernach zuzuschneiden.

Verbindung von Guttapercha- und Faserstoffkabeln.

Die Frage der Verspleißung von Guttapercha- mit Faserstoffkabeln ist noch nicht einwandfrei gelöst. Die Verbindung erfolgte bei der R. T. V. bisher im allgemeinen in der Weise, daß zwischen die beiden Kabel ein kurzes Stück wetterbeständiges Gummikabel eingeschaltet wurde. Als Muffen kann man entweder eine starre Doppelmuffe oder zwei einzelne, durch gemeinsame Schelle zu verbindende Muffen nehmen. Es wird also das Gummikabel in der einen Muffe mit dem Guttaperchakabel und in der zweiten Muffe mit dem Faserstoffkabel verspleißt.

Die Anfertigung einer Lötstelle zwischen Gummi- und Faserstoffkabeln geschieht genau in derselben Weise, wie zwischen zwei Faserstoffkabeln. Das gründliche Abdämpfen mit Isoliermasse hat sich jedoch in der Hauptsache auf das Faserstoffkabel zu beschränken. Das Gummikabel ist zur Vermeidung einer Gefahr für die Isolierung nur vorsichtig abzuspülen, um die an der Oberfläche haftende Feuchtigkeit zu entfernen. Das Ausgießen der Mittelkammer geschieht auch nur durch die Öffnung über dem Faserstoffkabel, damit die gummiisolierten Adern nicht zu sehr erhitzt werden. Man nimmt für diese Lötstelle im allgemeinen die früher erwähnte schwarze, bei niedrigerer Temperatur fließende und stärker bindende Isoliermasse, doch genügt bei ausreichender Vorsicht auch die billigere braune Masse [2]).

Die Verbindung der Guttapercha- und Gummikabel geschieht in der Regel derart, daß die beiderseitigen Adern verlötet und dann die Muffenkammern mit schwarzer Isoliermasse bzw. Asphalt vergossen werden. Ein vorheriges Abspülen ist nicht erforderlich, da die beiden Isolierstoffe nicht hygroskopisch sind. Es hat sich jedoch gezeigt, daß es auf diese Weise nicht gelingt, eine dauernd gute Isolation in einer solchen Lötstelle zu erhalten. Beim Ausgießen der Lötmuffen besteht nicht nur eine Gefahr für die Isolierung der Kabeladern, sondern es ist selbst bei der größten Vorsicht

---

[1]) Zu vgl. S. 252. — [2]) Wegen Isoliermassen zu vgl. S. 239.

kaum möglich, um die verlöteten Adern eine vollkommen feste und dichte Schicht aus Isoliermasse zu bringen, weil doch immer etwas atmosphärische Luft von dem nicht durch Bleimantel geschützten Guttaperchakabel her durch die Bewehrung zwischen den Adern in die Muffe eindringt und während der allmählichen Erhärtung mehr oder weniger große Hohlräume in der Masse bildet. Diese Stellen können später durch die zwischen den Adern liegenden, gewissermaßen als Dochte wirkenden Jutefäden, selbst wenn diese nicht bis in die Mittelkammer hinein reichen, Feuchtigkeit nachziehen, wodurch dann Erdschlüsse entstehen.

Es sind nun Versuche gemacht worden, diesem Übel dadurch abzuhelfen, daß man dünne Paragummischläuche auf die verbundenen Adern überstreifte. Ein solcher Schlauch soll die Isolierhüllen beider Adern bedecken und außerdem die Guttaperchaadern noch einige cm unterhalb der Eisenbewehrung umgeben; an den Enden wird der Gummischlauch mittels Drahtbunde luft- und wasserdicht abgeschlossen.

Zum Schutze der Guttaperchahülle werden die Adern nicht verlötet, sondern nur mittels Zwickstelle (Abb. 98) verbunden. Auch von Stabilitscheiben wird abgesehen, um eine möglichst gerade Richtung der Adern zu erzielen. Die Erfahrung hat nämlich gelehrt, daß die Kupferleiter in den gebogenen Adern beim Ausgießen der Muffe ihre konzentrische Lage leichter verlieren. Es hat sich auch als praktisch erwiesen, die äußere Kammer nicht mit Asphalt, sondern mit schwarzer Isoliermasse auszugießen, da diese bei geringerer Temperatur fließt und die Guttapercha infolgedessen weniger der Gefahr einer Erweichung ausgesetzt wird. Es wäre jedoch erwünscht, wenn man von einer Ausfüllung dieser Muffen überhaupt ganz absehen könnte. Voraussetzung hierfür ist aber eine einwandfreie, luft- und feuchtigkeitsdichte isolierende Verbindung zwischen den Guttapercha- und Gummiadern, etwa in ähnlicher Weise wie zwischen zwei Guttaperchaadern; diese Versuche sind jedoch noch nicht zu einem Abschluß gekommen.

Ein anderes, bereits in die Praxis eingeführtes Verfahren besteht in der unmittelbaren Verbindung von Guttapercha- und Faserstoffkabeln. Hierbei werden die Guttaperchaadern in der soeben angegebenen Weise mit Gummiröhrchen überzogen, und darauf wird die ganze Muffe vorsichtig und gründlich mit schwarzer Masse ausgefüllt. Betriebserfahrungen von längerer Dauer liegen noch nicht vor. In trockenen Kabelbrunnen werden sich diese Lötstellen, wie auch die Gummi-Guttaperchaverbindungen, voraussichtlich gut halten, Bedenken bestehen aber bei Erdkabeln oder bei Überschwemmung von Brunnen.

Die ganze Frage ist noch nicht als abgeschlossen zu betrachten und verdient weitere sorgfältige Prüfung, wenn auch die Zahl solcher Kabelverbindungen nicht mehr erheblich sein wird.

Verbindung von Fernsprechpapierkabeln.

Die Anfertigung der Spleißstellen in Fernsprechkabeln mit Papier- und Hohlraumisolation gestaltet sich verschieden danach, ob es bewehrte oder unbewehrte Kabel sind. Für erstere werden im allgemeinen die gußeisernen, auszugießenden Muffen verwendet, für letztere dagegen Bleimuffen, die in

der Regel nicht mit Isoliermasse angefüllt werden. Unabhängig hiervon sind aber für beide Kabelarten gleichmäßig die Herstellung der Adernverbindungen und die Prüfung auf richtige Adernschaltung.

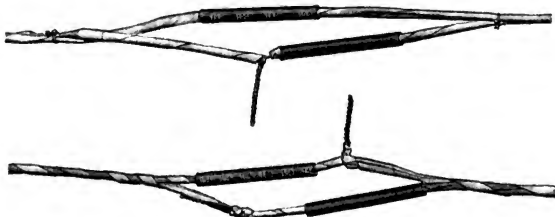
Bei den Papierkabeln wird im Betriebe der R. T. V. von einer Verlötung der Leitungsdrähte grundsätzlich abgesehen, da die Verbindungsstellen gegen Oxydation, Schmutz und mechanische Beanspruchung in der Muffe hinreichend gesichert sind. Es soll hierbei nicht unerwähnt bleiben, daß z. B. in Amerika die Verlötung noch teilweise beibehalten ist; diese Arbeit kostet jedoch Zeit und Geld und kann unter Umständen auch Gefahren für die papierisolierten Adern mit sich bringen. Bei der anderen Ausführung der Verbindung muß allerdings besondere Sorgfalt auf die sichere Verwürgung der Adern gelegt werden, damit nicht bei einer Bewegung des Kabels eine Lockerung oder gar Unterbrechung der Adern eintreten kann. Allgemein hat es sich als praktisch erwiesen, vor der eigentlichen Adernverbindung die zusammengehörigen Adern der einzelnen Paare an den Enden kurz zusammenzudrehen, wie z. B. aus den Abb. 30 und 103 zu ersehen ist, damit Vertauschungen nach Möglichkeit vermieden werden.

Die Verbindung der Adern der vorher gehörig zugerichteten und lagenweise abgebundenen Kabel erfolgt von der innersten Lage aus nach außen, in jeder Lage mit dem Zähladernpaar beginnend. Als Zählrichtung gilt bei der R. T. V., daß, vom Amte aus gesehen, stets rechts herum weiter gezählt wird. Das Verfahren der Adernverbindung gestaltet sich verschieden, je nachdem, ob man es mit Kabeln mit einfacher oder doppelter spiraliger Umspinnung oder mit Dreiecksfaltung des Papiers (s. S. 94) zu tun hat. Die Regel bildet, wenigstens bei der R. T. V., die zweifache spiralige Umhüllung. Zunächst wird das Papier mit scharfem Messer etwa auf 1 cm zu jeder Seite der Mitte der nebeneinander liegenden Adern abgeschnitten, darauf werden die Adern in der Mitte rechtwinklig zur Adernrichtung umgebogen und eng miteinander verwürgt; die Würgestelle wird dann auf 3 cm Länge abgekniffen. Ein Umbinden der zurückgeschnittenen Papierenden mit Fäden ist bei doppelter Papierumspinnung in der Regel nicht erforderlich, da das Papier ohnedies schon genügend fest anliegt. Bei einfacher Papierisolation ist diese Abbindung allerdings nicht zu umgehen, sie erfordert aber mehr Zeit und ist daher kostspieliger. In den Kabeln mit Dreiecksfaltung muß das Papier, nach Entfernung des mittleren Papiersteges, mit in die Adernraupe eingewürgt werden, da sonst ein Ausspringen der Adern aus dem Papier zu befürchten ist. Die stärkeren Adern von 1,5 und 2 mm Stärke in den Fernleitungskabeln werden nicht verwürgt, da sie sich hierzu weniger eignen; die Verbindung wird vielmehr, wie bei Faserstoffkabeln, durch verzinnte prismatische Kupferhülsen mittels Zwickstelle (Abb. 98) ausgeführt.

Die Isolierung der einzelnen verwürgten Adern gegeneinander erfolgt durch Papierröhrchen, die vor der Verbindung auf je eins der zusammengehörigen Drahtenden geschoben werden. Die Röhrchen sind 5 cm lang, ihre lichte Weite ist je nach der Stärke der Kabeladern verschieden; sie sollen gut getränkt sein und dürfen bei Behandlung der Spleißstellen mit Isoliermasse nicht erweichen oder sich aufrollen. Zur Erleichterung einer späteren Auffindung der einzelnen Adern bei Fehlerbeseitigungen hat sich das Be-

drucken der Röhrchen mit Zahlen, den Adernnummern entsprechend, bewährt. Die bezifferten Röhrchen werden auf die verzinnte a-Ader, unbedruckte auf die b-Ader jedes verseilten Adernpaares gebracht. In **Abb. 99** sind zwei verbundene Adernpaare mit doppelter spiraliger[1]) (oben) und mit Dreiecksumspinnung (unten) zu sehen. Bei der Aufbringung der Röhrchen über die blanke Würgestelle ist darauf zu achten, daß das Papier der verbundenen Adern nicht fortgeschoben wird, da sonst die Isolation in Frage gestellt werden kann. Aus dieser Befürchtung wird teilweise im Auslande bei sämtlichen Papierkabeln das Papier — wie auch aus Abb. 99 unten zu ersehen ist — fest mit verwürgt. Die einzelnen Adernverbindungen sollen entsprechend der Muffenlänge auf die ganze Länge der Spleißstelle verteilt sein. Die Würgestellen der Adern desselben Paares müssen sich aber gegenüber stehen, damit später keine Leitungsverwechselungen vorkommen können. Die Papierröhrchen sind bei der Verarbeitung recht trocken zu halten; zu empfehlen ist z. B. noch ihre vorherige Trocknung über offenem Feuer auf mit Stiften versehenen Eisenblechen.

Abb. 99.



Die Beseitigung jeglicher Feuchtigkeit aus der fertigen Spleißstelle ist ein sehr wichtiges Erfordernis, da sonst Mitsprechen eintreten kann. Bei denjenigen Spleißstellen, welche in Eisenmuffen gelegt und daher ausgegossen werden müssen, erfolgt das Entfernen der etwa aus der Luft oder von den Händen des Löters auf die Adern gelangten Feuchtigkeit durch gründliches Abdämpfen[2]) mit heißer, bis auf 200° C erhitzter Isoliermasse. Dagegen wird bei den unbewehrten, in Bleimuffen verbundenen Kabeln von einem Abbrühen und Ausgießen meistens abgesehen, und zwar zu dem besonderen Zweck, diese Kabel für die Druckluftbehandlung geeignet zu halten. Die Trocknung wird bei diesen Lötstellen lediglich durch ein schwach brennendes, offenes Holzkohlenfeuer vorgenommen, das in genügendem Abstande unterhalb der verbundenen Adern aufgestellt wird. Bei den stärksten Kabeltypen muß diese Trocknung bereits während der Spleißarbeit jedesmal nach Fertigstellung von zwei oder drei Lagen erfolgen, da die warme Luft sonst die Feuchtigkeit in der dicken Spleißstelle nicht genügend zum Verdampfen bringen würde. Wenn möglich, empfiehlt es sich, die ganze Arbeit dauernd neben Wärmequellen (offenes Feuer, Lampen usw.) auszuführen.

---

[1]) Die Fadenumwickelung um die beiden oberen Adern der Abbildung erfolgt in der Praxis nicht, sie ist nur an dem Muster geschehen. — [2]) Zu vgl. S. 250.

Bei Verwendung eiserner Muffen sollen auch die Kabelenden innerhalb des Bleimantels noch besonders imprägniert werden. Diese Imprägnierung kann man in der Weise ausführen, daß auf die volle Schnittfläche des noch nicht aufgeteilten Kabels ein dieses umfassender Trichter gesetzt und dann eine gute Isoliermasse bis auf mindestens 1 m eingefüllt wird. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Kabeladern bei dieser Art der Behandlung klebrig werden und schlechter zu bearbeiten sind, daß auch unter Umständen die Masse zwischen den Gängen der Würgestelle sitzen bleibt und dann die Sprechfähigkeit des Kabels beeinträchtigt.

Ein neueres Verfahren soll diese Mängel beseitigen. Das Kabelende wird zunächst auf die zur Verspleißung erforderliche Länge vom Bleimantel befreit. Darauf wird ein Trichter zwischen die äußere Bandumwickelung und den Bleimantel über das Kabel geschoben und mit Isolierband gut abgedichtet. Alsdann wird die flüssige Isoliermasse unter fortgesetztem vorsichtigen Anwärmen des Bleimantels zwischen diesen und die Kabelseele so lange in das aufrecht gerichtete Kabelende eingegossen, bis sie sich beim Nachfüllen nicht mehr senkt. Auf diese Weise kann das Kabel gleichmäßiger und auch auf eine größere Länge imprägniert werden. Nach Entfernung des Trichters wird das Kabelende für die Verspleißung der trocken gebliebenen Adern weiter vorbereitet.

Außerordentlich wichtig für den Fernsprechbetrieb ist die richtige Verbindung der zueinander gehörigen Kabeladern über die ganze Länge des Kabels ohne jede Vertauschung oder Kreuzung. Eine Gewähr für ordnungsmäßige Verbindung wird nach Möglichkeit aber nur dann gegeben, wenn die Lötstellen eines Kabels der Reihe nach von einem Endpunkte aus angefertigt werden.

Die Prüfung[1]) der Kabel auf Mitsprechen, das durch Adernberührungen, durch Feuchtigkeit oder durch Adernkreuzungen und Vertauschungen entstehen kann, erfolgt bei der R. T. V. nach der Verlegung. Wenn solche Störungserscheinungen infolge mangelhafter Fabrikation auch schon durch Fehler im Kabel selbst veranlaßt sein können, so werden sie in der Regel doch erst später durch unvorsichtige Herstellung der Spleißstellen herbeigeführt. Es ist daher eine sorgfältige Prüfung der Kabel auf richtige Verbindung der Adern und auf Mitsprechen dringend erforderlich. Solche Prüfungen sollen nicht nur nach der vollständigen Verlegung und Fertigstellung des ganzen Kabels, sondern schrittweise für jede einzelne Kabellänge stattfinden, da sonst später viel Zeit und Kosten für Beseitigung von Fehlern aufzuwenden sind.

Nach dem bei der R. T. V. im allgemeinen vorgeschriebenen Verfahren werden vor Verbindung zweier Kabelstücke die einzelnen Leiter beider Längen zunächst auf Stromfähigkeit und Isolation geprüft. Diese Vorprüfung läßt sich jedoch in umfangreichen Kabelnetzen nicht mehr durchführen, zumal auch Meßbeamte nur selten zu solchen Zwecken verfügbar sind. Eine solche Prüfung der einzelnen Leiter beider Kabelstücke bedingt außerdem, daß das anzuspleißende Kabelstück sogleich an beiden Enden aufgeschlossen wird

[1]) Zu vgl. Aufsatz des Verfassers „Prüfungen an Fernsprechkabeln"; Blätter f. Post u. Telegr., Berlin 1908, Heft 22 bis 24.

und gleichzeitig dauernd besetzt bleibt. Es wird jedoch für den erstrebten Zweck genügen — und das entspricht der schon vielfach üblichen Praxis —, daß in jedem Falle vor Verbindung zweier Adern von der Lötstelle aus bis zum Endverschluß im Amte nur in einfacher Weise festgestellt wird, ob die Adernverbindung richtig und bis zum Amte über die ganze Kabellänge stromfähig ist. Gleichzeitig wird durch diese Prüfung eine Gewähr dafür geschaffen, daß die einzelnen Adern und Adernpaare in richtiger Reihenfolge nebeneinander liegen und entsprechend durchverbunden werden. Dieses ist von größter Wichtigkeit, da es zur Vermeidung von Induktionsstörungen unbedingt erforderlich ist, daß stets nur die zu demselben Paare gehörigen *a*- und *b*-Adern, und zwar auch wieder ohne gegenseitige Vertauschung, in jeder Lötstelle miteinander verspleißt werden. Vor Anfertigung der nächsten Lötstelle ist dann wieder dieselbe Prüfung erneut auszuführen. Auf keinen Fall dürfen aber die etwa in einer Lötstelle trotz aller Vorsicht doch noch vorgekommenen Adernverwechselungen durch Rücktausch der betreffenden Adern in einer anderen Lotstelle wieder ausgeglichen werden, namentlich nicht in verschiedenen Adernpaaren, weil dadurch zwischen den beiden Kreuzungsstellen Schleifen aus nicht zusammengehörenden Adernpaaren entstehen würden. Es muß vielmehr die betreffende fehlerhafte Lötstelle wieder geöffnet und die Vertauschung beseitigt werden. Ergeben sich Zweifel, ob wirklich eine Verwechselung in der Lötstelle stattgefunden hat, so muß zunächst durch Prüfung auf Mitsprechen die Zusammengehörigkeit der Adern auf den Teilstrecken ermittelt werden. Derartige Fehler sind auch bei der fortschreitenden Verbindung der einzelnen Kabellängen durch regelmäßige sorgfältige Prüfungen viel leichter einzugrenzen, als nach Fertigstellung des ganzen Kabels. Besonderer Wert ist noch darauf zu legen, daß auch dann, wenn das Kabel im Amte noch nicht angeschlossen werden kann, eine Prüfung vorgenommen wird, z. B. mittels eines provisorisch einzuschaltenden Endverschlusses oder auch mittels eines an einem Kabelende für die Prüfung besonders herzurichtenden Prüfstumpfes.

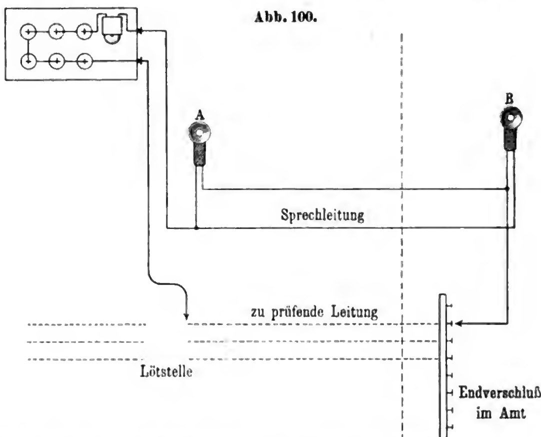
Ein einfaches Verfahren zur Prüfung der Kabel auf richtige Adernfolge ist in **Abb. 100** skizziert. Das Apparatsystem besteht aus einem sogenannten Klingelkasten (Schnarrwecker mit Batterie) und zwei Fernhörern; es kann in jeder Werkstatt leicht zusammengesetzt werden. Das letzte Adernpaar des Kabels wird als Sprechleitung zwischen der Lötstelle im Kabelbrunnen usw. und dem Endverschluß im Amte eingeschaltet. Die Richtigkeit der Adernverbindung wird folgendermaßen festgestellt:

Die Arbeiter an den beiden Kabelenden verständigen sich zunächst mit ihren Fernhörern über den Beginn der Arbeit. Dann legt *A* die *a*-Ader des ersten Adernpaares an den Prüfdraht, d. h. an die freie Zuführung zum Wecker, und wartet, ob dieser ansagt. Das ist der Fall, wenn *B* die entsprechende Klemme des Endverschlusses mit seinem Prüfdraht berührt hat; *B* erkennt seinerseits die richtige Verbindung am Geräusch in seinem Fernhörer. *A* legt darauf den Prüfdraht an die *b*-Ader, *B* geht gleichfalls weiter usf. Bei jedesmaligem Ansagen der Prüfeinrichtungen ist die richtige Adernschaltung nachgewiesen, und die Prüfung schreitet in gleicher Weise allmählich durch das ganze Kabel fort. Bei Schwierigkeiten oder Fehlern wird *A* durch Klopfen auf seinen Fernhörer *B* zum Eintreten in die Sprech-

leitung veranlassen und sich mit *B* über die Ursache und etwaige Beseitigung der Mängel verständigen. Nach Prüfung jeder Ader wird in der Lötstelle die Verbindung mit der betreffenden Ader des folgenden Kabelstückes ausgeführt.

Soll bei umfangreichen Kabelstörungen die Auswechselung eines beschädigten Kabels bereits am Tage der Störung ohne Betriebsunterbrechung erfolgen, so kann durch sogenanntes Rückwärtsverbinden eine erhebliche Beschleunigung in der Störungsbeseitigung erfolgen. Dieses Verfahren besteht in der Einschaltung eines parallel zur Fehlerlänge verlegten provisorischen Ersatzstückes durch Verbindung mit dem vorhandenen Kabel an zwei Stellen von der äußeren Lage aus nach innen zu, ohne daß gleichzeitig mehr als nur gerade die umzuschaltende Ader außer Betrieb gesetzt wird. Die vier Ar-

Abb. 100.



beiter an den beiden Kabelenden, z. B. im Amte und am Hauptverteiler oder sonstigen Endabschluß, sowie an den beiden provisorischen Verbindungsstellen müssen sich dann entsprechend dem vorstehend geschilderten Verfahren vor Umschaltung jeder Ersatzader gegenseitig über die richtige Beschaltung verständigen.

Außer der Prüfung der richtigen Adernfolge empfiehlt es sich noch, nach Fertigstellung der einzelnen Lötstellen das Kabel vom Ende jedes neu angespleißten Kabelstückes aus bis zum Endverschluß in jeder Leitung auf Mitsprechen zu prüfen. Wenn diese Arbeit auch die für eine Lötstelle aufzuwendenden Kosten vermehrt, so sollte sie doch zur Sicherstellung des Betriebes wenigstens in solchen Kabeln, an die hinsichtlich der Sprechverständigung erhöhte Anforderungen [1]) gestellt werden, stets vorgenommen werden,

[1]) Zu vgl. die späteren Ausführungen über Einschaltung von Selbstinduktionsspulen in Fernsprechkabeln, S. 268.

da sonst die zur Aufsuchung und Beseitigung der Fehler später erforderlichen Aufwendungen recht beträchtlich sein können.

Die **Prüfung auf Mitsprechen** kann entweder mittels Fernhörers oder mit Hilfe des Induktionsübertragers einer Wechselstrommeßbrücke, mit einem Schnarrwecker oder auch mittels Polwechslers erfolgen. Bei nachträglichen Prüfungen in bereits besetzten Kabeln sind erforderlichen Falles zur Vermeidung von Schlußzeichenstörungen in geeigneter Weise Kondensatoren in die Stromkreise der Prüfapparate einzuschalten. Es wird von innen aus mit der Leitung 1 a/b angefangen. In die Leitung, welche am Ende zur Schleife verbunden ist, wird am Kabelanfang hinein gesprochen oder mittels der oben bezeichneten Apparate ein Unterbrechungs- oder Wechselstrom geschickt. Der Arbeiter am Ende prüft dann mittels Fernhörers die benachbarten Doppelleitungen auf Geräuschlosigkeit. Ist alles in Ordnung, so verständigt er sich mit seinem Mitarbeiter; die Arbeit schreitet gleichmäßig fort und geht auch bei einiger Übung recht schnell vonstatten. Durch diese Prüfung kann zugleich die tadellose Anfertigung der Lötstellen festgestellt werden.

Man kann die Mithörprüfung entweder nach vollständiger Fertigstellung der Lötstelle oder schon während der Verspleißung des Kabels ausführen. Im letzteren Falle wird man nach Verbindung etwa der Hälfte der Adern vom anderen Ende des anzuspleißenden Kabelstückes aus mit der Durchprüfung beginnen können. Eine Unbequemlichkeit liegt hierbei allerdings darin, daß im Amte am Anfang des Kabels gleichzeitig zwei Leute an demselben Kabel arbeiten, daß im ganzen also vier Mann beschäftigt sind. Da aber die starken Straßenkabel im Amte in dünnere Kabel aufgeteilt und dann zu getrennten Abschlußeinrichtungen geführt werden, so lassen sich Schwierigkeiten vermeiden. Ein wesentlicher Vorteil bei diesem Verfahren ist der erhebliche Zeitgewinn gegenüber der Prüfung erst nach vollständiger Herstellung der Lötstelle. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, daß dabei jede Lötstelle die doppelte Zeit — zunächst zum Prüfen und dann zum Verbinden der Adern — offen gehalten werden muß. Bei einiger Umsicht läßt es sich jedoch ermöglichen, daß die ganze Prüfung kurze Zeit nach Erledigung der Spleißarbeiten beendet ist und auch Gefahren für die Isolation vermieden werden.

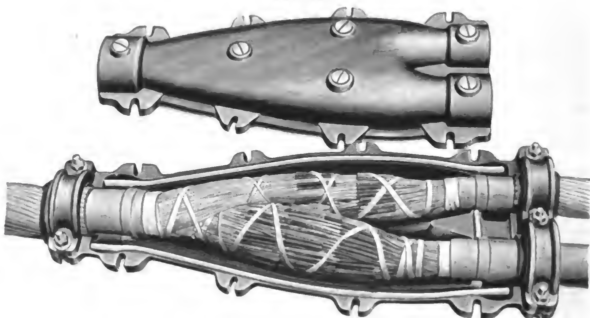
Derartige Prüfungen sind zugleich erforderlich wegen der in den allgemeinen Bedingungen der R. T. V. gegebenen Vertragsvorschriften, daß nämlich die Kabel frei von Mitsprechen sein sollen; sie bilden also einen Teil der amtlichen Abnahme der Kabel. Lassen sich die Einzelprüfungen auf Mitsprechen nicht durchführen, so darf um so weniger nach Fertigstellung des ganzen Kabels eine sorgfältige Prüfung vom Amte bis zum Abschluß unterbleiben. Bevor nicht einwandfrei festgestellt worden ist, daß ein Kabel auch gegen Mitsprechen gesichert ist, sollte es nicht in Betrieb genommen werden.

Die ganze Spleißstelle wird nach Verbindung der einzelnen Adern noch mit einem Baumwollbande umgeben, um einen besseren Zusammenhalt zu sichern. Bei den Eisenmuffenlötstellen wird schmales, getränktes, kreuzweise über die Lötstelle zu schlingendes Band genommen, damit der Isoliermasse beim Abdämpfen und Ausgießen nicht der Zutritt zu den Adern versperrt wird. Für trockene, d. h. nicht auszugießende Lötstellen wird dagegen

trockenes, breites Nesselband gewählt, das die ganze Spleißstelle überlappend vollständig einhüllt (s. Abb. 104). In feuchten Brunnen ist die fertig umwickelte Spleißstelle zweckmäßig nochmals über Holzkohlenfeuer zu trocknen.

Das Anbringen und Ausgießen der Eisenmuffen erfolgt in der oben für Faserstoffkabel angegebenen Weise (S. 248); eine solche Verteilungs-

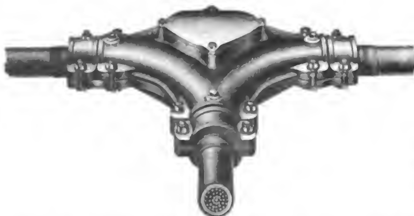
Abb. 101.



lötstelle ist aus Abb. 101 zu ersehen. Abb. 102 zeigt eine T-förmige Verteilungsmuffe der Firma Siemens u. Halske.

Bevor mit der Verbindung der Adern begonnen wird, sind bei Verwendung von Bleimuffen die beiden Muffenhälften über die Kabelenden zu streifen. Die Länge der Spleißstelle und der Abstand zwischen den Enden der Bleimäntel beider Kabel ist so zu bemessen, daß die beiden Hülsen nach dem Zusammenschieben 3 bis 4 cm ineinander stecken und die Bleimäntel der Kabel nach beiden Seiten noch ebenso weit umfassen. Zur Verbindung der Muffenhälften untereinander und mit den Bleimänteln, die vorher blank zu schaben und mit Talg zu bestreichen sind, wird bei der R. T. V. in der Hauptsache der auf S. 238 erwähnte Lötmörtel benutzt. Der geschmolzene Mörtel wird mit Schöpfkelle auf die drei zu verbindenden Nähte gebracht und mittels eines mit Talg beschmierten Stückes englisch Leder zu einer Rundwulst verarbeitet, wie z. B. die Abb. 105 veranschaulicht. Der Talg spielt bei dieser Verlötung nur die Rolle eines Schutzmittels gegen Oxydation [1]). Die Güte der ganzen

Abb. 102.



[1]) Zu vgl. die Ausführungen auf S. 236, zu 1.

Spleißstelle hängt wesentlich von der Art der Verlötung der Bleimuffe ab, schon das kleinste Loch bringt die Gefahr des Eindringens von Feuchtigkeit und kann unter besonders ungünstigen Verhältnissen zu Massenstörungen im Betriebe Anlaß geben. Es muß daher dieser Arbeit besondere Sorgfalt gewidmet werden. Damit der Mörtel während des Ausformens der Plombe genügend weich bleibt, wird ihm mit einer Lötlampe die nötige Wärme zugeführt. Um auch die Unterseite der Muffen auf gute Ausführung der Plomben zu prüfen, empfiehlt sich die Besichtigung mit einem Spiegel. Solche Bleimuffen werden für gewöhnlich nicht ausgegossen (zu vgl. S. 261, Abs. 4).

Die Verlötung der Muffen läßt sich dadurch wesentlich vereinfachen und verbilligen, daß der Lötmörtel in Stangenform verwendet wird. Der Mörtelstab wird um die mit Talg bestrichene Lötnaht fest zu einem Ringe mit etwa 2 cm übereinander greifenden Enden zusammengelegt, dann von diesen aus

Abb. 103.

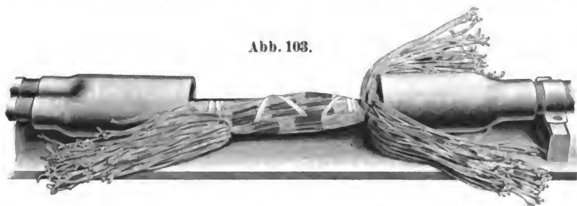


Abb. 104.



nach beiden Seiten um die Naht mit der Lötlampe zum Schmelzen gebracht und mittels Ledertuches zu einer kleinen Wulst geformt; hierbei ist namentlich auf gute Verbindung des Mörtels mit den nicht verzinnten Bleimänteln zu achten. Bei Verwendung von Stangentinol (s. S. 238) zur Verlötung der Bleimuffen ist zunächst ein wenig Tinolpaste als Flußmittel auf die Lötnaht zu schmieren, nicht aber auch noch Talg, da dieses das Fließen des im Tinol enthaltenen Glycerins in die Muffe hinein begünstigen würde. Der Tinolstab ist dann ebenso wie der Mörtelstab umzulegen und vorsichtig zu verlöten, so daß weder Glycerin noch Salmiak in die Muffe gelangen kann. Die Verlötung mit Stabmörtel ist bei Herstellung der großen Plomben bedeutend wirtschaftlicher als mit dem gewöhnlichen Mörtel und auch durchaus betriebssicher; das Tinol steht hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zwischen diesen beiden.

In den **Abb. 103** und **104** sind zwei in Arbeit befindliche Spleißstellen von Papierkabeln mit Bleimuffen zur Ansicht gebracht.

Gegen die Verwendung der zweiteiligen Bleimuffen wird wohl der Einwand erhoben, daß die mittlere, dritte Lötnaht eine überflüssige und kost-

spielige Arbeit darstelle und auch eine neue Fehlerquelle biete. An und für sich sind solche Bedenken nicht grundlos. Im Auslande ist man daher vielfach bei der hohlen Röhre von gleichmäßigem Durchmesser, als einteiliger Muffe, geblieben. **Abb. 105** zeigt eine solche Form [1]), wie sie z. B. in England und auch in Amerika angewendet wird. Die Muffe wird von einer Seite über die Spleißstelle gezogen, an den Enden dem Kabeldurchmesser entsprechend zusammengebogen und dann mit dem Bleimantel verlötet. Gegen ein solches Verfahren ist jedoch andererseits wieder einzuwenden, daß die Hälse der zweiteiligen Muffenhälften eine größere Festigkeit der Lötstelle gewährleisten als die eingebogenen, den Kabelmantel nur mit einer geringen Fläche berührenden Enden der einteiligen Muffe, sofern letztere nicht sehr viel länger als die eigentliche Spleißstelle genommen wird. Auch scheinen das Öffnen einer derartigen Lötstelle und die spätere Wiederverwendung solcher Muffen weniger günstig zu sein, als bei der zweiteiligen Form. Allerdings gibt es eine einteilige Muffe in einwandfreier Ausführung, diese wird in Paris verwendet. Hier werden die Spleißstellen dadurch, daß man die einzelnen Adernverbindungen sehr weitläufig auseinanderzieht, nicht stärker, als der Durchmesser der eigentlichen Kabelseele beträgt, so daß die Muffe einen nur um eine Wandstärke weiteren Bleimantel darstellt, dessen Verlötung an den Enden einfach und leicht ist.

Abb. 105.

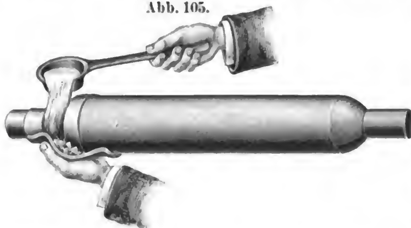
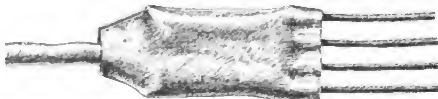


Abb. 106.



Für diese, zuweilen sehr langen Muffen ist aber außerordentlich viel Platz erforderlich, der in den gewöhnlichen Kabelbrunnen, wo die Lötstelle im allgemeinen in der Mitte der Brunnenlängsseiten liegen soll, nur sehr selten vorhanden sein wird, der aber in den großen gemauerten Pariser Kanälen [2]) bequem zur Verfügung steht.

In ähnlicher Weise kann man zur Ersparung von Kosten für die ziemlich teueren zweiteiligen Lötmuffen bei Aufteilung der aus den Einzelverteilern (zu vgl. Abb. 92, 93 a und 149) herausgeführten vierpaarigen Kabel in einpaarige Einführungskabel alte Bleimäntelreste stärkerer Kabel verwenden. Der Bleimantel wird auf eine entsprechende Länge abgeschnitten und dann flach geklopft. An dem Ende für das vierpaarige Kabel wird diese Bleihülle ein

[1]) Nach Kempster B. Miller, S. 823. — [2]) Zu vgl. S. 132, Anm. 1.

wenig zugespitzt und am anderen Ende für die vier Einzelkabel mit einer Zange geformt; die Arbeit ist einfach und kann an Ort und Stelle ausgeführt werden. **Abb. 106** zeigt eine solche — noch nicht verlötete — Verbindungsstelle. Die Adern werden außerhalb der Ausformung verbunden und umwickelt und dann vorsichtig in den Innenraum hineingezogen, schließlich wird die Muffe in gewöhnlicher Weise mit den Bleimänteln der einzelnen Kabel verlötet. Für stärkere Kabel ist ein derartiges Verfahren wenig geeignet, bei diesen sind auch die anteiligen Kosten der Lötmuffe im Verhältnis zu den Herstellungskosten der ganzen Spleißstelle wesentlich geringer.

Um für Druckluftprüfungen einen durchgehenden Luftraum in den Papierkabeladern zu schaffen, werden neuerdings bei der R. T. V. auch für Röhrenkabel mit Bewehrung und für Erdkabel an Stelle der gußeisernen Muffen Walzbleimuffen verwendet. Dieses Verfahren ist ferner allgemein auch dann von Vorteil, wenn solche Kabel der Nässe besonders ausgesetzt sind, da sich durch die Verlötung der Muffen mit dem Bleimantel am sichersten eine wasserdichte Abschließung der Spleißstellen erreichen läßt. Hierbei ist durch Zurückschneiden der Bewehrungsdrähte dafür zu sorgen, daß diese bei einer Bewegung der Kabel nicht in den Bleimantel einschneiden können. Außerdem kann, z. B. bei Erdkabeln, ein verstärkter Schutz dieser Verbindungsstellen noch dadurch erzielt werden, daß die Bleimuffe mit einem Holzkasten oder einer größeren Eisenmuffe umgeben und der Zwischenraum mit einer Vergußmasse ausgefüllt wird.

Ein anderes Verfahren zur Erhaltung des Luftdurchganges in bewehrten Kabeln ist folgendes: Die Spleißstelle wird gehörig getrocknet und darauf mit mehreren Lagen abwechselnd aus Nesselband und Gummiband dicht, jedoch nicht zu fest umwickelt. Alsdann wird in gewöhnlicher Weise eine Eisenmuffe herumgelegt und diese, wie üblich, jedoch mit ganz besonderer Vorsicht ausgegossen; zum weiteren Schutze der Adern werden unterhalb der Eingußöffnungen Nesselbandpolster auf die Spleißstelle gelegt. Die Isoliermasse wird auf diese Weise von den Papieradern ferngehalten, schützt aber andererseits die Spleißstelle durchaus genügend.

Eine besondere Art der Kabelverbindung ist die Spleißstelle zwischen Papier- und Gummikabeln, wie sie z. B. in den Hauptverteilern der R. T. V. und in sonstigen Abschlußapparaten erforderlich wird. Die Herstellung erfolgt genau wie zwischen zwei Papierkabeln mit einer Bleimuffe. Diese ist jedoch mit Isoliermasse auszugießen, da durch die Zwischenräume der aufgeteilten Gummiadern Feuchtigkeit in die Lötstelle eindringen kann, und weil auch die eingelegten Jutefäden das Anziehen von Wasser begünstigen. Oben in die Muffe sind vorsichtig zwei Löcher zu schneiden und nach Ausfüllung der Muffe wieder sorgsam zu verlöten. Da diese Muffen den Abschluß der Kabel bilden, so muß zum Ausgießen besonders gute und harte Masse verwendet werden (S. 240), zugleich um eine Druckluftprüfung der Kabel zu ermöglichen.

Spleißstellen in Papiertelegraphenkabeln.

Als Muffen für die Verbindungsstellen in Telegraphenkabeln mit Papierisolation werden bei der R. T. V. die gewöhnlichen eisernen Verbindungs- oder

Verteilungsmuffen verwendet. Die einzelnen Adern werden zunächst in der für stärkere Faserstoffkabel üblichen Art (S. 250) mittels verzinnter prismatischer Kupferhülsen durch Zwickzange miteinander verbunden, über jede Verbindungsstelle wird alsdann ein Papierröhrchen geschoben. Die zu einem Paar verseilten Adern sollen auch in der Spleißstelle wieder durch Zurückwickelung des vorher abgestreiften spiraligen Papierbandes zu einem verdrillten Adernpaar vereinigt werden. Haben die Adern zum Schutz gegen Induktionsstörungen Stanniol- oder Kupferbandumspinnungen, so muß auch in den Lötstellen für fortlaufende Verbindung dieser Metallhüllen gesorgt werden. Die Kupferbänder sind zu verlöten. Bei den dünnen Stanniolbändern wird wegen ihrer großen Empfindlichkeit gegen Wärme eine Verlötung nicht vorgenommen, es empfiehlt sich vielmehr, die abgewickelten Bänder über die Papierhülle von beiden Seiten spiralig fest übereinander zu legen und mit Zwirn abzubinden. Die sämtlichen Adern sind vor Abschließung der Muffe fest mit Bändern zusammenzulegen, damit die metallischen Schutzstreifen eine gute Verbindung miteinander erhalten. Ist die ganze Kabelseele noch mit einem besonderen Schutzstreifen aus Kupferblech umgeben, so ist auch dieser zu verlöten. Bei allen diesen Lötarbeiten muß große Vorsicht beachtet werden, damit die Metallschutzhüllen fortlaufend sicher verbunden und nicht die Hüllen anderer Adern beschädigt werden.

Die fertiggestellten Spleißstellen werden zunächst mit einer Bleimuffe umgeben. Mit Rücksicht auf die außerordentliche Bedeutung der Telegraphenkabellinien und den großen Einfluß von Betriebsstörungen auf den Nachrichtenverkehr wird selbst bei Röhrenkabeln ohne Bewehrung der einfache Bleimuffenschutz nicht als ausreichend angesehen. Diese Spleißstellen sollen vielmehr, ebenso wie diejenigen in bewehrten Kabeln, noch einen weiteren Schutz durch eine eiserne Muffe erhalten; unter den Schellen werden die Bleimäntel zur Sicherheit gegen Druckbeschädigungen noch ausreichend mit Isolierband (S. 235) umwickelt. Außerdem sind die etwa verbleiten Schutzdrähte der bewehrten Kabel (s. S. 43) zweckmäßig noch mit den Muffen gut zu verlöten. Die eisernen Muffen werden in der gewöhnlichen Weise mit Asphalt und Isoliermasse ausgegossen; eine Ausfüllung der Bleimuffen mit heißer Masse ist dagegen wegen einer Gefährdung der dünnen Metallschutzbänder nicht zu empfehlen. An den Enden der Kabel müssen die metallischen Schutzbänder der Einzeladern in den Endverschlüssen vereinigt und mit ganz besonders guten Erdleitungen von möglichst geringem Widerstande verbunden werden. Eine tadellose Erdverbindung ist erste Voraussetzung für die sichere Wirkung der Metallbänder gegen Induktionsstörungen. Zu diesem Zwecke werden in der Regel auch noch die Lötmuffen der Schutzhüllenkabel in den Kabelbrunnen in geeigneter Weise geerdet.

Einbau von Spulenkästen.

Wie bereits in Abschnitt III, S. 106, erläutert worden ist, werden zur Verbesserung der Sprechverständigung und zur Vergrößerung des Sprechbereiches in die Adern von Fernsprechverbindungskabeln bei Bedarf kleine Selbstinduktionsspulen nach dem System des amerikanischen Professors Pupin eingeschaltet. Es sollen hier auf Grund praktischer Erfahrungen einige Winke für den Einbau der Spulen gegeben werden:

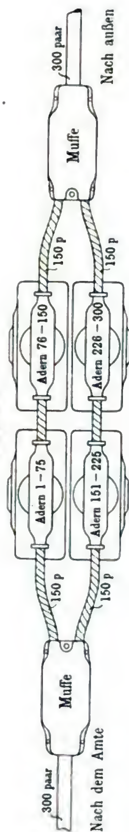


Abb. 107.



Abb. 108.

Der **Spulenabstand**[1]), d. h. die gegenseitige Entfernung der Spulenkästen voneinander, wurde für die Verbindungskabel der R. T. V. in den ersten Jahren der Verlegung pupinierter Kabel mit etwa 1,5 bis 2 km bemessen. Nachdem sich jedoch erwiesen hatte, daß man ohne wesentliche Beeinträchtigung der Sprechverständigung auch noch weiter gehen konnte, werden neuerdings die Spulen durchschnittlich in einem Abstande von 2,5 bis 3,5 km voneinander eingeschaltet, je nach den Leitungskonstanten der gewählten Kabeltype; auf diese Weise können zugleich erhebliche Kosten erspart werden. Solche Spulenabstände sind aber lediglich Erfahrungssätze der bisherigen Praxis der R. T. V. mit Kabeln bis rund 40 km. Geringe Abweichungen der Abstände in derselben Kabellinie sind unbedenklich; die Entfernung der ersten Kästen von den Endämtern beträgt die Hälfte des Streckenabstandes. Die Abstände werden bei anderen Verwaltungen, je nach der Länge des Kabels, dem beabsichtigten Grade der Pupinierung und nach der Stärke der Leiter oder der Höhe der zugelassenen Dämpfung, auch in anderer Weise festgesetzt.

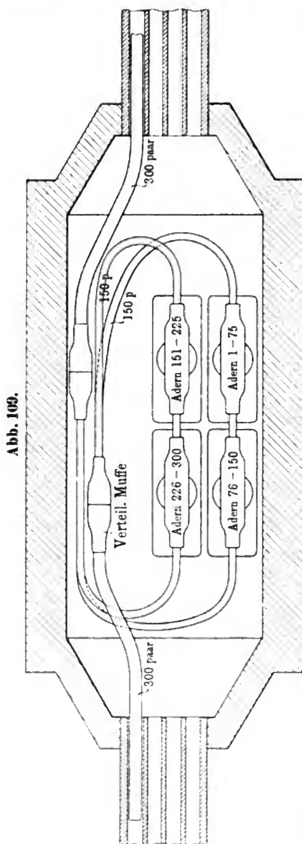


Abb. 109.

Die Möglichkeiten zur **Unterbringung der Pupinkästen**[2]) in den Kabellinien sind sehr verschieden:

Bei der Pupinierung der **Erdkabel** sind Schwierigkeiten zur Unterbringung der Kästen selten vorhanden. Hier werden die Kästen, deren Verbindung **Abb. 107** schematisch für ein 300 paariges Kabel zeigt, stehend oder liegend in die Erde gebettet. Nur in weichem oder sumpfigem Boden wird noch für eine besondere feste Unterlage zu sorgen sein, damit sich die schweren Spulenkästen, deren Gewicht mehrere Zentner beträgt, unter keinen Umständen senken. Das 300 paarige Kabel ist mittels

[1]) Näheres über die Theorie zu vgl. Breisig, Theoretische Telegraphie, S. 328. — [2]) Zu vgl. S. 108.

einer gewöhnlichen eisernen Verteilungsmuffe in zwei 150paarige Kabel aufgeteilt worden, und jedes dieser Kabel ist durch zwei hintereinander liegende Kästen mit je 75 Spulen hindurchgeführt. In der Muffe des ersten Kastens ist das 150paarige Kabel durchschnitten; die Adernpaare 1 bis 75 sind pupiniert, die Adernpaare 76 bis 150 dagegen durchverbunden, diese führen nur durch die halsartige Muffe des Kastens hindurch. Im zweiten Kasten

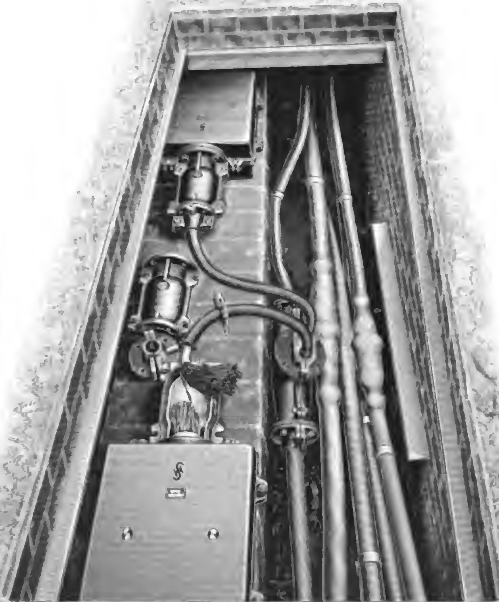


Abb. 110.

gehen die Adernpaare 1 bis 75 wieder glatt hindurch, dagegen sind die Adernpaare 76 bis 150 pupiniert. Die Verbindung zwischen den beiden Kästen erfolgt durch ein kurzes Stück 150paarigen Kabels. Hinter dem zweiten Kasten werden die beiden 150paarigen Kabel wieder in einer Verteilungsmuffe zu dem 300paarigen Hauptkabel vereinigt. In ähnlicher Weise können sämtliche gewünschten Spulenschaltungen, unter Umständen auch nur für einen Teil der Adern eines Kabels, vorgenommen werden. An jedem Spulenkasten sind zweckmäßig die Nummern der darin pupinierten Adernpaare äußerlich

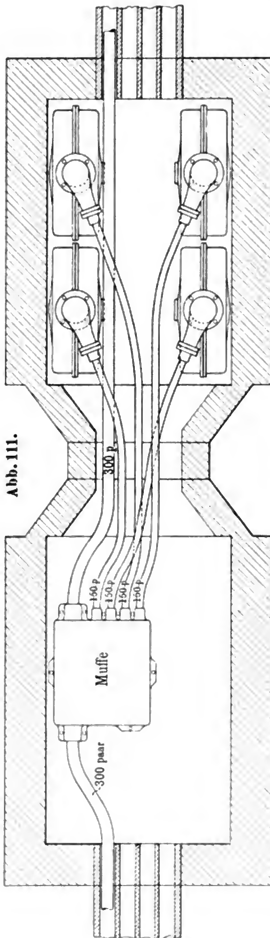


Abb. 111.

mit dauerhafter Ölfarbe zu bezeichnen. **Abb. 108** stellt die obige Aufteilung nach der Natur [1]) dar.

Schwieriger ist die Unterbringung der Spulenkästen bei Röhrenkabeln in den meistens eng begrenzten Kabelbrunnen. Hier sind zwei Möglichkeiten zu unterscheiden: Entweder ist der Brunnen groß genug, um die Verteilungsmuffen und Spulenkästen aufzunehmen, oder es müssen die Kästen neben dem Brunnen aufgestellt werden, falls es nicht vorgezogen wird, einen zweiten Brunnen hinzuzubauen. Die Beispiele sollen an einem 300paarigen Kabel erläutert werden. Im ersten Falle wird das Kabel, wie bei den Erdkabeln der Abb. 108, in zwei 150paarige Kabel aufgeteilt und entsprechend pupiniert. Aus **Abb. 109** ist eine solche Aufteilung zu ersehen. Läßt die Konstruktion des Brunnens eine derartige Lagerung der Lötstellen und die notwendigen Biegungen der Kabel nicht zu, so können die vier Kästen auch so verteilt werden, daß je zwei an jeder Längsseite aufgestellt oder flach gelegt und die Verteilungsmuffen in der Mitte gelagert werden. Die **Abb. 110** zeigt — schräg von oben gesehen — die praktische Ausführung des Einbaues von Spulenkästen in einem Brunnen. Kann ein genügend langer Brunnen — etwa 2,5 m für obige Verteilung — nicht gebaut oder ein vorhandener nicht ausreichend erweitert werden, so wird man nach **Abb. 111** in einem Brunnen die Verteilung des Kabels und in einem anderen, möglichst nahe gelegenen Brunnen — unter Hin- und Zurückführung der Adern — die Pupinierung ausführen. In jedem Falle ist zu berücksichtigen, daß die Spulenkästen so aufgestellt werden, daß man später zur Beseitigung auftretender Fehler an den Kästen arbeiten kann,

[1]) Die im Bilde zwischen den Kästen verlaufenden beiden Kabel sind ältere Erdkabel derselben Linie; zu vgl. Abb. 115.

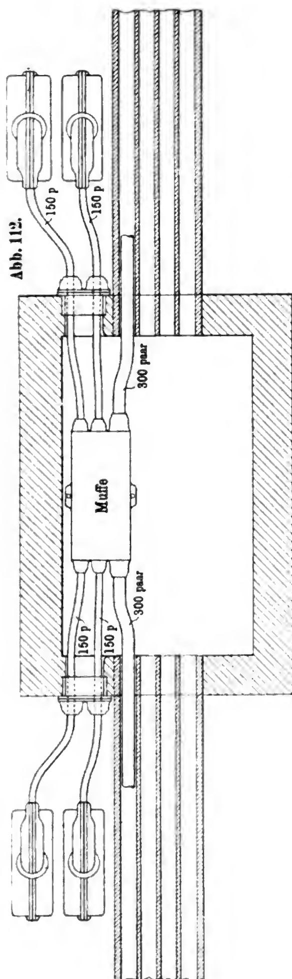


Abb. 112.

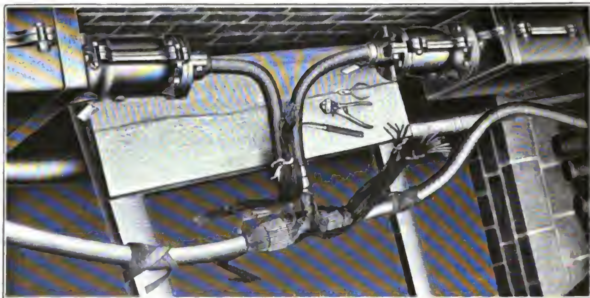
150 p
150 p
150 p
150 p
300 paar
Muffe
300 paar

Abb. 113.

ohne sie von ihrem Platz fortrücken zu müssen. Wenn möglich, soll noch genügend Raum verbleiben, um bei etwaiger Vermehrung in demselben Brunnen die Pupinierung und Aufteilung weiterer Kabel vornehmen zu können, zumal sich sonst nur schwer die richtigen Spulenabstände einhalten lassen werden. Die erforderlichen Brunnenabmessungen sind daher in jedem Falle nach den Größen der Spulenkästen (für 75 Spulen, in zwei Lagen eingebaut, etwa 85 × 85 × 35 cm; Gewicht der einzelnen Kästen rund 300 kg) sorgfältig zu ermitteln. Sollten genügend große Brunnen nicht gebaut werden können, so werden die Spulenkästen neben den Brunnen in der Erde Aufstellung finden müssen, wie z. B. aus den schematischen **Abb. 112** und **113** ersichtlich ist. Das Einlegen der Spulenkästen in die freie Erde soll jedoch auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben, da sie dort weniger leicht zugänglich sind.

Wenn die Größe der Kabelbrunnen nicht ausreichend ist, um die bei der Verzweigung der Kabel notwendigerweise entstehenden Bogen und Schleifen

Abb. 114.

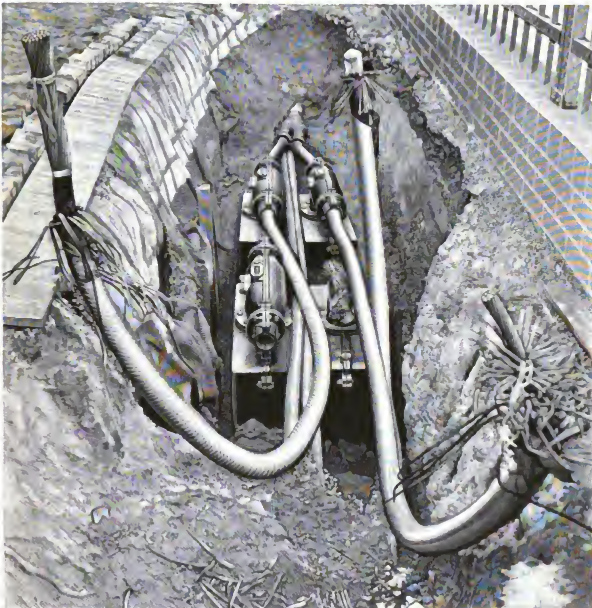


gesichert unterzubringen, so werden zur Aufteilung Verzweigungsmuffen besonderer Art verwendet, wie sie in den Abb. 111 bis 113 angedeutet und in einem Stück aus Abb. 110 zu ersehen sind. Die von den Kästen kommenden Kabel, die doppelt soviel Doppelleitungen enthalten, als die Kästen Spulen haben, werden in dieselbe Muffe eingeführt wie das Hauptkabel, und zwar von der Seite, wo die Kästen untergebracht sind. Wenn also alle Kästen auf einer Brunnenseite aufgestellt sind, so kommen die Abgangsstutzen auch nur auf einer Seite der Abzweigmuffe zu stehen. Liegen die Kästen zu beiden Seiten, so ist eine andere Form mit zweiseitig angebrachten Stutzen zu verwenden. Die Art der in jedem Fall bei der Firma Siemens u. Halske besonders zu bestellenden Muffen richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen. Diese aus Blei angefertigten Verzweigungsmuffen werden zum Schutze gegen Beschädigungen noch mit einer eisernen Schutzhülle umgeben. Aus **Abb. 114** ist — entspr. Abb. 110 — die Kabelaufteilung und Verspleißung in einer solchen Muffe mit den zugehörigen Spulenkästen ersichtlich.

Die Montage der Spulenkästen wird in folgender Weise vorgenommen: Nach Öffnung der äußeren Eisenmuffe und Abnahme der oberen

Hälfte der inneren Bleimuffe (zu vgl. Abb. 35) werden die Kabelenden in diese Muffe gelegt. Darauf wird die Verbindung der in dem Kasten zu pupinierenden Adern mit den entsprechenden, aus den Löchern der Nummernabschlußscheibe des Spulenkastens heraustretenden Gummiaderenden der einzelnen Spulen in gewöhnlicher Weise durch Verwürgung ausgeführt. Die nicht zu pupinierenden Adern werden auf gleiche Weise direkt verbunden. Geöffnete Muffenstutzen verschiedener Form mit den Gummiadern sind aus

Abb. 115.



den Abb. 110 und 115 zu ersehen. **Abb. 115** stellt eine in Arbeit befindliche Pupinkasteneinschaltung für ein Erdkabel dar (zu vgl. Abb. 108). Nachdem die beiden Hälften der Bleimuffe sorgfaltig miteinander verlötet sind, wird die Eisenmuffe um die Verbindungsstelle mittels Schellen festgelegt und schließlich noch der Innenraum zwischen Blei- und Eisenmuffe mit bester Isoliermasse ausgegossen. Hierbei muß wegen der erforderlichen großen Menge der Vergußmasse besonders vorsichtig zu Werke gegangen werden (s. S. 239).

Um in den Pupinkabeln ein Mitsprechen mit Sicherheit zu vermeiden, sind bei der Herstellung der Lötstellen unter allen Umständen jegliche Adern-

kreuzungen, Berührungen und Nebenschließungen zu vermeiden. Insbesondere ist vor dem Verbinden jeder Ader die auf S. 255 beschriebene elektrische Prüfung gewissenhaft vorzunehmen, damit sichergestellt ist, daß die richtige Ader genommen wird, und daß diese Ader stromfähig und frei von Nebenschließungen und Berührungen ist. Etwaige Fehler sind auf jeden Fall zu beseitigen. Nach Fertigstellung jeder zweiten Lötstelle ist es außerdem erforderlich, die nebeneinander liegenden Adernpaare auf Mitsprechen (s. S. 256) zu prüfen und alle Adern auf Isolationswiderstand gegen Erde, sowie der *a*- und *b*-Adern gegeneinander zu messen. Hierbei können zur Abkürzung Gruppenmessungen von etwa 20 bis 30 *a*- oder *b*-Adern vorgenommen werden. Wenn sämtliche Lötstellen zwischen zwei Pupinkästen angefertigt und geprüft worden sind, werden schließlich noch jedesmal die sonstigen Messungen der Kabel vom Anfang bis hinter den zuletzt fertiggestellten Pupinkasten vorgenommen. Alle diese umständlichen Vorsichtsmaßregeln haben den Zweck, eine spätere Öffnung der Lötstellen und Spulenkästen zu vermeiden. Es ist daher schon den geringsten Fehlererscheinungen nachzugehen, da sonst der durch die Pupinierung mit hohen Kosten erreichte Vorteil in Frage gestellt werden kann.

Achter Abschnitt.

Abschluß der Kabel.

Allgemeines.

Die in die Erde verlegten oder in Kanäle eingezogenen Kabel bedürfen an ihren Enden zu ihrem Schutze und zu ihrer Aufteilung oder zur Verbindung mit den weiterführenden Leitungen eines besonderen Abschlusses.

Die Verfahren zum Abschließen und Aufteilen der Kabel sind nach zwei grundsätzlich verschiedenen Ausführungsformen zu betrachten: Die Kabel werden entweder direkt ohne Zwischenglieder in die einzelnen Adern aufgeteilt und dann unmittelbar beschaltet — dieses trifft nur bei den Guttaperchakabeln zu —, oder es werden zwischen die Hauptkabel und die weiterführenden Abschluß- und Verteilungskabel noch besondere, das Ende des Kabels abschließende Vorrichtungen eingefügt. Diese Konstruktionen können entweder lediglich eine Verbindungsstelle darstellen oder gleichzeitig als Beschaltungsstelle eingerichtet sein. In letzterem Fall werden die Kabelabschlüsse in besonderen Gehäusen untergebracht und in diesen dann aufgeteilt und weiterverbunden.

Die Abschlußeinrichtungen der Kabel im Amt sind in der Hauptsache die sogenannten Kabelendverschlüsse; für Fernsprechkabel sind teilweise noch anderweitige, einfachere Einrichtungen vorhanden. Die Verbindung der Kabel mit den anschließenden ober- oder unterirdischen Leitungen auf der Strecke erfolgt entweder, wie oben erwähnt, ohne Zwischenkabel oder unter Anschaltung kurzer Stücke wetterbeständiger Kabel ebenfalls mittels besonderer Endverschlüsse, zum Teil auch lediglich durch Kabelmuffen.

Die äußeren Schutz- und Verbindungsgehäuse für die Kabelabschlüsse sind die Kabelüberführungssäulen und ähnliche Einrichtungen. Bei Fernsprechkabeln erfolgt die Verbindung mit den weiterführenden oberirdischen Leitungen in der Regel in sogenannten Überführungskästen, die in mannigfacher Form und Größe bei den verschiedenen Verwaltungen verwendet werden. In den Fernsprechnetzen mit rein unterirdischer Verteilung der Anschlußleitungen stellen die verschiedenartigen Hauptverteiler[1]), Kabelverteiler usw., je nach dem System der Verteilung, die Verbindungsglieder zwischen den Haupt- und Anschlußkabeln dar. Zu diesen Apparaten gehören als Endabschlüsse der dünnen Hauseinführungskabel noch besondere

[1]) Wegen des grundsätzlichen Unterschiedes zwischen Hauptverteilern und Überführungskästen zu vgl. S. 145.

Einrichtungen, die man in ihrer Gesamtheit unter dem Begriff der Einzelverteiler zusammenfassen kann.

Die Art der Einführung der Kabel in die Ämter ist außerordentlich verschieden, so daß nur wenige allgemeine Gesichtspunkte angegeben werden können. Sie ist abhängig von den örtlichen Verhältnissen, von der Zahl und Type der Kabel und von der notwendigen Erweiterungsfähigkeit des ganzen Kabelnetzes. Übersichtlichkeit in der ganzen Anlage, sowie die Möglichkeit der Aufnahme späterer Kabel sind die Haupterfordernisse einer jeden Kabeleinführung.

Einführung der Telegraphenkabel in die Ämter.

Die Einführung der unmittelbar im Erdboden oder durch Kanäle an das Amtsgebäude herangeführten Telegraphenkabel macht in der Regel keine besonderen Schwierigkeiten.

Die Kabel der großen unterirdischen Telegraphenlinien [1]) der R. T. V. werden auf möglichst kurzem Wege zu den Kabelumschaltern geführt, von wo aus die Zuführungsleitungen zu den Apparatsystemen weitergehen. Dagegen werden die Guttaperchakabel der sogenannten Stadtlinien [1]), welche die Fortsetzung der oberirdischen Telegraphenlinien von der Ortsgrenze ab darstellen, unmittelbar in die Betriebsräume zu Kabelschränken oder zu Schaltgestellen geführt, wo sie mit den Sicherungen und Blitzableitern direkt verbunden werden. Die Adern der Faserstoff- und Papiertelegraphenkabel bedürfen noch eines besonderen Abschlusses, weil schon geringe Feuchtigkeitsmengen ihre Isolation gefährden. An solche Kabel werden daher wetterbeständige Kabel angespleißt, deren Adern dann die Verbindungen zu den Umschalteeinrichtungen und Apparaten bilden. An welcher Stelle der Übergang auf das wetterbeständige Kabel erfolgt, richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen; es soll dafür ein leicht zugänglicher, möglichst heller Raum vorgesehen werden, der auch für spätere Erweiterungen des Kabelnetzes ausreicht.

Bei kleineren Anstalten wird im allgemeinen die Führung der in geringer Zahl vorhandenen Kabel — allerdings ausschließlich von Guttaperchakabeln — an der Außenwand der Gebäude hinauf bis zur Höhe des Betriebsraumes am günstigsten sein. Zu diesem Zweck werden möglichst schon beim Hausbau passende Falze in der Mauer vorgesehen, sonst aber nach Bedürfnis herausgestemmt. Ist dieses nicht angängig, so sind einfache Kabelschächte herzustellen. Bei einer größeren Anzahl von Kabeln wird oft die Durchbrechung der Grundmauern und die Einführung der Kabel durch eiserne Rohre usw. in die Kellerräume geeigneter sein. Die alsdann für die Hochführung der Kabel zu den Betriebsräumen notwendigen Kabelschächte sind derart einzurichten [2]), daß sie nicht eine Feuersgefahr herbeiführen. Zur Festlegung der Kabel an den Mauerwänden werden in Abständen von etwa höchstens 5 m genau senkrecht übereinander eiserne Kabelhalter geeigneter Form an kräftigen eisernen Trägern angebracht, damit das obere Ende des Kabels vom Zuge entlastet wird. Die Kabel werden ungefähr bis zu einer Höhe von 3 m vom Erdboden aus mit einem feuersicheren Schutzkasten versehen, für den darüber hinaus freibleibenden Teil bieten die eisernen Bewehrungsdrähte allein einen hinreichenden Schutz gegen äußere Beschädigungen.

---

[1]) Zu vgl. S. 72 bis 75. — [2]) Zu vgl. die Ausführungen auf S. 274.

Einführung und Aufteilung der Fernsprechkabel.

Die vorstehenden Angaben können zum Teil ohne weiteres auch für die Einführung von Fernsprechkabeln gelten. In den großen Fernsprechzentralen mit ihren zahlreichen hochpaarigen Kabeln sind jedoch noch andere Gesichtspunkte maßgeblich. Die Kabel stoßen hier linienweise aus starken Kanälen am Einführungsbrunnen zusammen. Es kommt dann in Frage, ob von diesem Brunnen aus ein alle einmündenden Kabel zusammenfassender Kanal — nach dem Vollrohr- oder Einzelrohrsystem [1]) — in das Grundstück bis zu einem geeigneten Punkte im Keller gebaut wird, oder ob die Kabel von dem Endbrunnen aus in einem besonderen, gewölbeartigen Kabelkeller zu ihrer Hochführungsstelle gebracht werden. Ersteres ist im allgemeinen billiger, eine solche Anlage bietet jedoch unter Umständen Schwierigkeiten bei einer etwa später über die frühere Berechnung hinaus notwendig werdenden Erweiterung des Kanals. Der Kabelkeller (zu vgl. Abb. 128) ist dagegen ohne weiteres geräumig genug, da er von vornherein so angelegt werden muß, daß in ihm alle Arbeiten zum Durchziehen und Verspleißen der Kabel, sowie zu ihrer Lagerung auf die in dem Raume aufzustellenden Kabelträgergestelle bequem ausgeführt werden können. Für Fälle von Feuersgefahr werden längere Kabelkeller an beiden Seiten mit Ausgängen versehen.

Es wird sich in der Regel nicht ermöglichen lassen, die starken Kabel durch den Einführungsbrunnen bis zur Hochführungs- oder Abschlußstelle in einem Stück durchzuziehen, es werden vielmehr meistens in diesem Brunnen Lötstellen anzufertigen sein. Die Endbrunnen vor den Fernsprechämtern können daher nicht geräumig genug hergestellt werden, sie sind, unter Anpassung an die Aufnahmefähigkeit des Amtes, von vornherein so groß zu bauen, wie die örtlichen Verhältnisse es nur irgend gestatten.

Die Ausführung und Befestigungsweise der Kabelträgergestelle in den Kabelkellern richten sich nach dem voraussichtlich größten Umfange der Kabelanlage und nach den örtlichen Verhältnissen. Es ist dafür zu sorgen, daß diese Unterstützungspunkte nicht zu weit auseinander liegen, damit keine Beschädigungen der Bleimäntel entstehen, unter Umständen sind noch kräftige Unterlegescheiben aus Blei oder Holz vorzusehen. Zwischen den einzelnen Gestellreihen muß genügend Platz für die Arbeiter vorhanden sein. Die Kabel sollen so gelagert werden, daß sie ohne Kreuzungen von der Einführung bis zum Hochführungs- oder Aufteilungspunkt verlaufen und jederzeit ohne Schwierigkeit wieder herauszuziehen und auszuwechseln sind, und daß sie das spätere Einziehen von Kabeln an freigelassenen Plätzen gestatten.

Im allgemeinen ist es bisher üblich gewesen, die Kabel vom Keller bis zum Umschalteraum in gemauerten Kabelschächten hochzuführen. Es ist jedoch nicht zweckmäßig, die schweren Hauptkabel selbst bis in den unter Umständen ziemlich hoch im Gebäude gelegenen Umschalteraum zu bringen, da ihr Hochziehen sehr viel Arbeit und Kosten verursacht [2]). Allerdings ist noch eine große Anzahl älterer Ämter vorhanden, bei denen infolge der Anlage des Amtes die Einführung der Hauptkabel bis zum Umschalteraum er-

[1]) Zu vgl. S. 151. — [2]) Zu vgl. die Ausführungen auf S. 135.

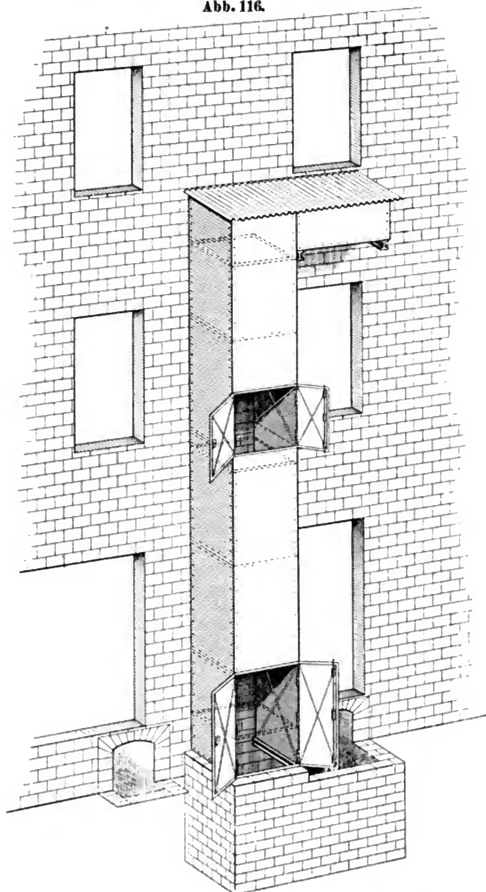
forderlich ist; bei Neuanlagen werden solche Einrichtungen jedoch nur unter besonders günstigen oder einfachen Verhältnissen zuzulassen sein. Die Befestigung der Kabel in den Schächten erfolgt in der Regel an Kabelhaltern aus Winkeleisen und Schellen; die Träger können schon beim Hausbau in die Wände der Schächte eingelassen werden. Die Kabel müssen in den Haltern genügend befestigt werden, so daß sie selbst bei sehr hohen Schächten nicht infolge ihres Eigengewichtes durchsacken können, andererseits ist aber auch ein Eindrücken des Bleimantels an den Festpunkten der Kabel zu verhüten. Die an den Haltern hängende Kabellast wirkt bei solchen Hochführungen lediglich als senkrechter Druck auf das Mauerwerk.

Die starken Fernsprechkabel werden im Keller in dünnere, in der Regel 50paarige Kabel aufgeteilt. Auf diese Weise wird das Einziehen der Kabel im Schacht wesentlich erleichtert und verbilligt. Diese Aufteilung der Kabel im Keller hat noch die günstige Nebenwirkung, daß die Unterbringung der großen Abschlußeinrichtungen für die starken Kabel im Umschalteraum vermieden und dadurch die Platzverteilung erleichtert wird; außerdem lassen sich die Abschlüsse für die kleineren Kabel einfacher anbringen. Durch derartige Einrichtungen werden ferner die umfangreichen Lötarbeiten für die Hauptkabel aus dem ohnehin meist räumlich beschränkten Umschalteraum in den Keller verlegt. Es ist schließlich auch noch durch Verwendung geeigneter Kabeltypen, z. B. von Baumwollseidenkabeln, möglich, den für die Schächte erforderlichen Raum kleiner zu gestalten und infolge des geringeren Gewichtes solcher Kabel die ganze Anlage leichter und billiger auszuführen.

Die offen stehenden Kabelschächte wirken aber leicht wie Kamine und können daher das schnelle Umsichgreifen eines ausgebrochenen Schadenfeuers durch Zugluft begünstigen, wie das im Jahre 1908 bei dem Brande der Fernsprechzentrale in der Gutenbergstraße in Paris der Fall gewesen ist. Bei solchen Erfahrungen sollten die Kabelschächte an den Stellen, wo sie die Fußböden der Stockwerke durchbrechen und wo sie in den Umschalteraum eintreten, sorgfältig abgedichtet werden. Ein guter Erfolg wird von Asbestschieferplatten zu erwarten sein, die der Form und Anordnung der Kabel leicht angepaßt und gegenseitig mit Mörtel verbunden werden können. Zur völligen Abdichtung der Kabeldurchführungen werden außerdem noch Ammoniumphosphatwolle in Asbestpackung oder Glaswolle gute Dienste leisten. Überhaupt ist bei allen Kabelarbeiten jeglicher Feuersgefahr in den Kabelkellern und Umschalteräumen sorgfältig vorzubeugen; hierzu wird in erster Linie die Einführung der elektrischen Beleuchtung dienen können.

Infolge der mit den Kabelschächten im Innern der Gebäude verbundenen Feuersgefahr ist neuerdings die R. T. V. wieder dazu übergegangen, die Kabel im allgemeinen nur noch von der Außenseite der Gebäude aus in die Umschalteräume einführen zu lassen. Die Straßenkabel werden im Endbrunnen vor dem Amt oder im Keller abgeschlossen, und dann dünne Abschlußkabel an der Außenwand in Kabelschächten bis zur Höhe des Umschalteraums geführt. Hierbei ist es am zweckmäßigsten, wenn die Hochführung an derselben Seite des Gebäudes erfolgt, an welcher die Kabel von der Straße her im Brunnen endigen. **Abb. 116** zeigt einen solchen Kabelschacht aus Eisenblech mit aufklappbaren Wellblechdeckeln und Türen; diese sollen zur Erleichterung des Hochziehens der Kabel dienen. Zum Festhalten der Kabel ist mit Erfolg eine

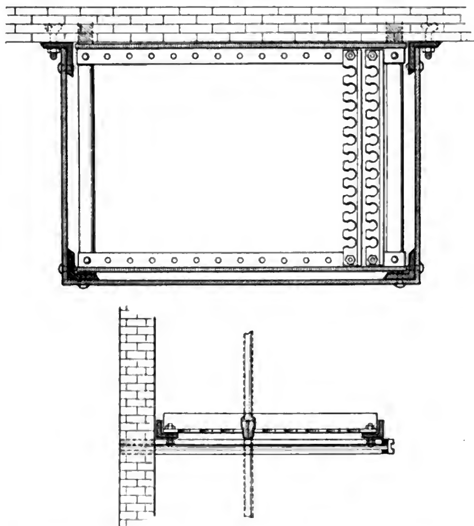
Abb. 116.



besondere Konstruktion gewählt worden, die aus **Abb. 117** in Aufsicht und im Längsschnitt zu ersehen ist. Kabelträger aus Winkeleisen, deren horizontale Flanschen mit Ausschnitten für die einzelnen Kabel versehen sind, lagern auf

den in der Mauerwand befestigten Eisenträgerrahmen. Die Kabel werden in den Einzelöffnungen durch je zwei halbkreisförmige, konische Eisenkeile gehalten, die sich beim Einlegen der Kabel eng zwischen diese und die Trägeröffnungen festklemmen und das Nachsacken der Kabel verhüten. Die Träger mit ihrer ganzen Kabelreihe können auch wohl auf den Rahmen hin und her geschoben [1]) werden, hierdurch wird die Auswechselung eines Kabels sehr erleichtert. Man kann aber die Kabel auch in Bündeln — z. B. je fünf zusammengehörige für ein 250 paariges Hauptkabel — mit Schellen an festen Eisenträgern in den Kabelschächten befestigen; die Übersichtlichkeit bleibt auch dabei genügend gewahrt.

Abb. 117.



Die Aufteilung und der Abschluß der Fernsprechkabel erfolgen im allgemeinen in Kabelendverschlüssen verschiedener Form. Außerdem ist bei der R. T. V. als Zwischenglied zwischen Hauptkabel und Endverschluß für die Aufteilung der starken Kabel in den Kellern der Ämter noch eine besondere Konstruktion, die sogenannte Bleiverteilungsmuffe besonderer Bauart, eingeführt worden, von der aus die einzelnen 50 paarigen Kabel zu entsprechenden kleinen Endverschlüssen am Umschaltegestell gebracht werden.

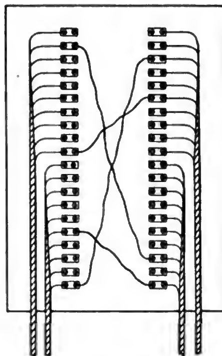
Die Verbindung der Hauptkabeladern mit den zu den Vielfachschränken führenden Systemkabeln wird durch die Verteilerdrähte [2]) im Umschaltegestell

[1]) Die Träger brauchen auf die Rahmen nicht festgeschraubt zu werden. — [2]) S. 127.

bewirkt. Diese besondere Schaltung der Adern ist deshalb notwendig, weil in den einzelnen Außenkabeln die örtlich zusammenliegenden Sprechstellen vereinigt sind, während in den Systemkabeln die Anschlußleitungen ihrer Nummernfolge nach zusammengeführt werden; den Ausgleich bildet der Verteilerdraht. **Abb. 118** stellt eine solche Beschaltung schematisch dar.

Mit der Aufteilung der Hauptkabel bereits vor dem Umschaltegestell, also im allgemeinen im Kabelkeller, ist zwar ein Nachteil verbunden, nämlich die notwendige Einfügung von Zwischenkabeln — die Erfahrung hat jedoch gelehrt, daß gegenüber den großen Vorzügen dieses Systems bei sorgfältiger Anfertigung der Übergangsstellen etwaige Bedenken nicht in Frage kommen.

Abb. 118.



Die Verbindung der Hauptkabel mit dem Umschaltegestell kann, kurz zusammengefaßt, nach folgenden Verfahren vorgenommen werden:

1. Führung der Hauptkabel bis zum Endverschluß am Umschaltegestell selbst.

2. Führung der Hauptkabel bis zum Endverschluß im Umschalteraum oder in einem sonst geeigneten, trockenen Raum des Gebäudes, Verbindung des Endverschlusses mit besonderen Klemmenleisten oder Lötösenstreifen am Umschaltegestell durch Abschlußkabel.

3. Abschluß und Aufteilung der Hauptkabel im Kabelkeller durch Bleiverteilungsmuffen (Abb. 126), Verbindung derselben mit den am Umschaltegestell anzubringenden kleinen Endverschlüssen durch entsprechende Abschlußkabel.

4. Wieder wie zu 3 Abschluß im Keller, im Anschluß daran Abschlußkabel bis zum Umschalteraum, Verbindung daselbst mit gleichpaarigen luftbeständigen Kabeln in Lötmuffen, Führung der letzteren ohne Zwischenschaltung von Endverschlüssen zu den Lötösenstreifen des Umschaltegestells.

5. Wie zu 4, jedoch ohne Anspleißung eines besonderen Kabels durch Lötmuffe im Umschalteraum, also unmittelbare Heranführung der 50paarigen Kabel vom Keller an das Umschaltegestell.

Welche Art der Aufteilung der Hauptkabel im Einzelfall zu wählen ist, hängt von den örtlichen Verhältnissen ab und wird sich nach den Erfahrungen der ausführenden Behörde zu richten haben. Als Abschlußkabel werden Gummikabel [1]), Papierkabel [2]) und Baumwollseidenkabel [3]) verwendet.

Technisch am einfachsten ist das unter 1 genannte Verfahren. Bei der R. T. V. kommt es jedoch nur noch vor zur Erweiterung vorhandener Anlagen gleicher Art, sowie in Fernsprechzentralen geringeren Umfanges mit günstig gelegenen Räumen, die zugleich eine hinreichende Größe des Umschaltegestelles gestatten. Die Zahl der Zwischenglieder zwischen Hauptkabel und

---

[1]) S. 112. — [2]) S. 103. — [3]) S. 122.

Schaltdrähten kann hier auf das geringste Maß beschränkt werden, indem ausschließlich der für jedes Kabel erforderliche Endabschluß (Abb. 122) verwendet wird.

Die unter 2 erwähnte Abschlußeinrichtung wird unter sonst gleichen Voraussetzungen wie zu 1 angewendet, wenn wegen örtlicher Schwierigkeiten die Kabelabschlüsse nicht unmittelbar am Umschaltegestell selbst angebracht werden können, sondern etwa an den Wänden des betreffenden Raumes aufgehängt werden müssen. Da in solchen Fällen das Hauptkabel am Endverschluß nicht unmittelbar mit den Verteilerdrähten verbunden werden kann, müssen am Umschaltegestell noch besondere Klemmenleisten, Sicherungsstreifen usw. angebracht und diese außerdem wieder durch Abschlußkabel mit den Kabelendverschlüssen verbunden werden. Es sind also zwei Zwischenglieder mehr als vorher notwendig. Als Abschlußkabel werden in der Regel Gummikabel verwendet; die früher gebräuchlichen Paraffinkabel sind nach und nach ausgewechselt worden, da ihre Isolation sehr schnell nachließ[1]).

Die Aufteilung der Hauptkabel im Kabelkeller mittels Bleiverteilungsmuffen[2]) (Ziffer 3) bildet bei der R. T. V. jetzt die Regel für die Einrichtung von größeren Zentralen. Zum Abschluß der Stammkabel und zu ihrer Verbindung mit dem Umschaltegestell sind in erster Linie Papierkabel zur Anwendung gekommen. Zur Ersparung von Gewicht und Platz wurden die auf S. 103 erwähnten gepreßten Papierkabel zu 50 oder 56 Doppelleitungen gewählt, die am Umschaltegestell in kleineren Endverschlüssen (Abb. 124) abgeschlossen werden. Bei dieser Art der Aufteilung sind drei Zwischenglieder erforderlich: Die Verteilungsmuffe, die Zwischenkabel und die Endverschlüsse, an die die Verteilerdrähte (wie zu 1) unmittelbar angeschaltet werden.

Es ging nun das Bestreben dahin, den Endverschluß ganz entbehrlich zu machen, da seine Beschaffung und Einschaltung erhebliche Kosten verursachen, und weil außerdem trotz großer Vorsicht doch manche Betriebsschwierigkeiten mit ihm verbunden sind. So kam man zu der unter Ziffer 4 genannten Einrichtung. Das Hauptkabel wird nach wie vor im Keller in 50 paarige Papierkabel aufgeteilt und dann im Umschalteraum in Bleiverbindungsmuffen (Abb. 126) mit kurzen Abschlußkabelstücken (Gummikabel oder Baumwollseidenkabel[3])) verspleißt, die unmittelbar an die Lötösenstreifen usw. des Umschaltegestells geführt werden. Der große Gewinn dieser Aufteilung liegt neben der Vermeidung der kostspieligen Endverschlüsse in der damit verbundenen Raumersparnis für das Umschaltegestell. Die mit Isoliermasse auszugießenden Lötmuffen sind bequem unterhalb eines als Fußboden dienenden Podiums von geringer Höhe unterzubringen, wo sie übersichtlich und gegen Beschädigung gesichert gelagert werden können. Demgegenüber ist die Vermehrung der Zwischenglieder zwischen Hauptkabelader und Verteilerdraht auf fünf Teile — Verteilungsmuffe, Papierkabel, Verbindungslötstelle, Abschlußkabel und Lötösenstreifen — nach den bisherigen Erfahrungen nicht als betriebserschwerend anzusehen; außerdem sind die Kosten geringer.

Als Abschlußkabel werden für trockene Räume nach amerikanischem Vorgang neben den Gummikabeln neuerdings mit gutem Erfolge Baumwollseidenkabel verwendet. Die Verbindung mit den Papierkabeln in der Über-

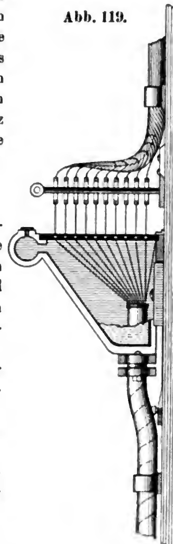
---

[1]) S. 120. — [2]) Abb. 126. — [3]) Zu vgl. den folgenden Absatz.

gangsmuffe im Umschalteraum erfolgt in gewöhnlicher Weise. Es ist nur beim Ausgießen der Muffe große Vorsicht zu beobachten, damit die Seide nicht verbrennt. Seide kann nämlich ohne Gefahr nicht mehr als etwa 110°C vertragen. Bei diesen kleinen Muffen ist aber das Ausgießen mit nur schwach erwärmter[1]) Masse ganz unbedenklich. An dem freien Ende muß das am Umschaltegestell festzulegende Seidenkabel — im Gegensatz zum Gummikabel — zum Schutze gegen Feuchtigkeit noch besonders imprägniert[2]) werden. Dieses geschieht z. B. in der Weise, daß in das senkrecht aufgestellte Kabelende mittels eines Trichters flüssig gemachtes reines Bienenwachs eingegossen wird. Der Bleimantel und auch der Trichter sind dabei vorsichtig zu erwärmen, damit diese Masse möglichst tief eindringt. Außerdem ist das in Zopfform abgebundene Kabelende noch gründlich mit einem geeigneten, nicht hygroskopischen und recht beständigen Material (Schellack usw.) zu bestreichen.

Die Bestrebungen zu weiterer Vereinfachung haben schließlich (Ziffer 5) dazu geführt, die Hauptkabel im Keller in der Bleiverteilungsmuffe unmittelbar mit Baumwollseidenkabeln zu verbinden, also das Papierabschlußkabel und die Verbindungslötstelle im Umschalteraum ganz zu vermeiden. Diese Versuche scheinen ein recht günstiges Ergebnis zu haben, es können dadurch viele Kosten erspart und die Arbeiten schneller ausgeführt werden, außerdem ist auf jeden Fall das Fehlen einer Lötstelle, selbst wenn sie ganz sorgfältig hergestellt wird, vom Betriebsstandpunkte aus als Vorteil zu betrachten.

Abb. 119.



Kabelendverschlüsse.

Die Kabelendverschlüsse müssen zwei grundsätzliche Anforderungen erfüllen: Sie sollen die Enden der Kabel luft- und wasserdicht abschließen und die Verbindung der Haupt- und Abschlußkabel an geeigneten Klemmenbrettern ermöglichen. Man unterscheidet im allgemeinen drei Arten von Kabelendverschlüssen:

1. Endverschlüsse, bei denen die Klemmenbretter von dem eigentlichen Endverschluß vollständig getrennt sind.
2. Endverschlüsse, bei denen diese Bretter im Innern angebracht sind.
3. Endverschlüsse, bei denen die äußeren Verschlußplatten zugleich die Klemmenbretter darstellen.

Die erste Gruppe der Kabelendverschlüsse ist in der Form der Konsolendverschlüsse anfänglich auch bei der R. T. V. verwendet worden; **Abb. 119** zeigt einen solchen im Längsschnitt. Der eigentliche Verschlußtrichter aus Gußeisen enthält unten den Einlaß für das Hauptkabel und oben eine Ebonitdeckplatte mit Löchern,

[1]) Zu vgl. S. 239. — [2]) Zu vgl. S. 119.

durch welche die vor der Platte von ihrer Isolierhülle befreiten blanken Hauptkabeladern zu den Klemmenleisten für die Abschlußkabel geführt werden. Der Endverschluß wird bis über die Enden der Isolierhüllen der einzelnen Adern ausgegossen. Man kann bei solchen Abschlüssen die Hauptkabeladern im Trichter auch mit einzelnen Gummiadern verbinden, und dann letztere aus dem Endverschluß herausführen. Mit der wachsenden Adernzahl der Kabel ist man jedoch von dieser Konstruktion wieder abgekommen. Der Apparat wurde schließlich zu groß und unhandlich, so daß eine genügend übersichtliche Verteilung der Leitungen und ausreichende Sicherheit gegen Berührung der einzelnen Adern nicht mehr gewährleistet werden konnten, auch hatten sich inzwischen andere, besser geeignete Formen in der Praxis gut bewährt.

Ein Kabelendverschluß nach dem oben erwähnten zweiten System mit abgeschlossenem Klemmenbrett ist aus den **Abb. 120** u. **121** geöffnet in Vorder- und Rückansicht zu ersehen. Diese stellen den sogenannten Endverschluß gewöhnlicher Form dar, der bei der R. T. V. für Telegraphen- und Fernsprechkabel jeder Adernzahl früher fast ausschließlich verwendet

Abb. 120.

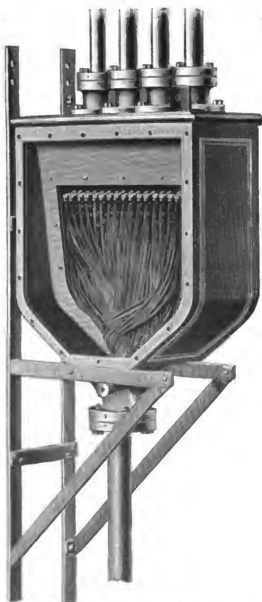
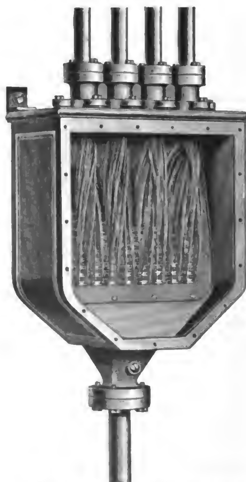


Abb. 121.



worden ist und auch jetzt noch vielfach, namentlich für Telegraphenkabel, Anwendung findet. Der Endverschluß besteht aus einem fünfseitigen, gußeisernen Rahmen, der vorn und hinten durch aufgeschraubte Wände aus

starkem Eisenblech und zwischengelegte Gummistreifen luftdicht abgeschlossen wird. Der Rahmen endigt unten in einem trichterförmigen Ansatz, vor dem der zur Einführung des Kabelendes dienende Stutzen mittels Flansches und Schrauben angebracht ist. Die obere Seite des Endverschlusses ist je nach der beabsichtigten Verteilung der Kabel mit einem oder mehreren Abgangsstutzen versehen.

Zur Abdichtung von Endverschlüssen und auch anderer luftdicht abzuschließender Kästen hat sich das sogenannte schwarze Spezialgummi von Siemens u. Halske gut bewährt, es ist elastisch, wird nicht hart und brüchig und klebt nicht fest, so daß das Material beim Öffnen der Kästen nicht zerreißt. Die Endverschlüsse werden im Innern mit einem Ölfarbenanstrich versehen, dieser darf keine metallischen Bestandteile enthalten und soll sich beim Abbrühen der Kabel mit heißer Isoliermasse nicht auflösen. Auch empfiehlt sich zu größerer Sicherheit noch ein Anstrich mit einem geeigneten Firnis, der aber bei der Temperatur der Ausgußmasse beständig bleiben muß. Es ist nicht zulässig, die Innenflächen der Endverschlüsse blank zu lassen, da dann eine Oxydbildung unausbleiblich ist; das Oxyd würde sich in der Isoliermasse lösen und auf der Klemmenplatte eine leitende Schicht bilden.

Der innere Raum des Endverschlusses ist durch ein schräg aufgestelltes Klemmenbrett aus 15 mm starkem Eisengummi oder ähnlichem Material in zwei Kammern geteilt, die unten je mit einer durch Messingschraube verschließbaren, gut gedichteten Öffnung zum Abfließen der Isoliermasse versehen sind. Der Übergangswiderstand zwischen den einzelnen Klemmen soll bei der Lieferung an die R. T. V. mindestens 5000 Megohm betragen und darf binnen drei Jahren nicht unter 100 Megohm sinken.

Die Montage der Endverschlüsse gewöhnlicher Art ist einfach und aus der Abbildung zu erkennen. Das Hauptkabel (Papier- oder Faserstoffkabel) wird durch den Einführungsstutzen eingeführt, in diesem mit einem Gummiring fest abgedichtet und dann an die Klemmen gelegt. Hierbei ist auf systematische Anordnung der Adern zu achten, damit beim Anlegen nicht freie Klemmen von bereits angeklemmten Adern bedeckt werden. Das aufgeteilte Kabel wird alsdann in der üblichen Weise gründlich mit Isoliermasse abgebrüht, um jegliche Feuchtigkeit vollständig zu beseitigen. Der Endverschluß wird hierauf nach Einfügung der Messingverschlußschraube auf der Hauptkabelseite ausgegossen. Das vollständige Ausgießen kann in durchaus trockenen Räumen unterbleiben, es hat jedoch zweckmäßig wenigstens so weit zu erfolgen, um das eintretende Hauptkabelende nach außen genügend abzuschließen. Dieses ist unbedingt notwendig, wenn die Kabel zur Behandlung mit Druckluft vorgesehen sind; es ist alsdann darauf zu halten, daß nur beste, harte Masse (s. S. 240) verwendet und der Abschluß vollständig dicht ohne Risse oder Blasen hergestellt wird. In entsprechender Weise werden dann die Abschlußkabel in die andere Kammer eingeführt und dort festgelegt, nachdem zunächst noch die richtige Beschaltung des Hauptkabels, namentlich auf etwaige Adernvertauschung, von der anderen Klemmenseite aus geprüft worden ist. Ein Abbrühen der Gummikabel und ein Ausgießen dieser Kammer finden nicht statt. Nach Fertigstellung der beiden Kammerteile des Endverschlusses werden die Eisenwände mit einer Gummizwischenlage fest an den Rahmen geschraubt.

Für sämtliche Endverschlüsse ist die Konstruktion geeigneter Klemmen eine Angelegenheit von größter Wichtigkeit. Diese müssen auf den beiden Seiten der Isolierplatten die Verbindung mit der Kabelader und der anschließenden Ader ermöglichen, sie sollen ferner bequem zugängig und leicht lösbar sein; die innere Verbindung mit der Hauptkabelader darf aber nicht gelockert werden, wenn der äußere Draht etwa zu Umschaltungen oder Meßzwecken abgenommen wird. Die Klemme soll geringe Abmessungen haben, damit die Größe der Isolierplatten und damit der Endverschlüsse selbst möglichst beschränkt werden kann. Die Klemmenstifte dürfen sich beim An- und Abschrauben der Adern nicht durchstoßen lassen und müssen so dicht schließen, daß beim Ausgießen der Endverschlüsse die Isoliermasse nicht durch die Durchbohrungen der Platten dringen kann.

Eine Frage von grundsätzlicher Bedeutung ist noch, ob Klemmschrauben oder Lötstifte vorzuziehen sind. Die Verschraubung erfordert bei der Anlegung und Abnahme der Adern erheblich weniger Zeit, was z. B. namentlich bei Kabelmessungen recht ins Gewicht fällt; andererseits ist mit ihr stets die Gefahr des Verstaubens und unsicheren Kontaktes verbunden. Für Telegraphenkabel mit ihren im allgemeinen dauernd festliegenden Verbindungen ist dieses zwar weniger von Bedeutung. Der moderne Fernsprechbetrieb mit seinen empfindlichen Systemeinrichtungen stellt jedoch weitergehende Anforderungen. So ist man allmählich für Fernsprechkabel immer mehr zu den Lötverbindungen übergegangen. Man kann bei diesen zwei Formen unterscheiden: Die Löthülse, in welche die Ader eingesteckt und mit einem Tropfen Lot verlötet wird, und den Lötstift, an den die Ader einfach angelötet wird. Da aber die Hülse das Auslöten der Adern erschwert, ist ihre Verwendung nicht sehr willkommen. Übrigens besteht bei beiden Formen die Gefahr des Abbrechens, wenn das Ab- und Anlöten oft wiederholt wird. Gegenüber der Verschraubung erfordert die Verlötung zweifellos mehr Zeit und Kosten, auch ist besonders bei den großen Endverschlüssen mit ihren eng aneinander stehenden Stiften große Vorsicht zu beobachten, im allgemeinen wird jedoch der Lötverbindung wegen ihrer größeren Betriebssicherheit der Vorzug zu geben sein.

Bei der Ausführung von Lötarbeiten an den Endverschlüssen kommt es allgemein darauf an:

1. Ein Lot[1]) zu verwenden, das bei möglichst niedriger Temperatur schmilzt, keine schädlichen Substanzen als Lötrest zurückläßt und weder flüssige, noch stark dampfende Lötmittel erfordert; mit gutem Erfolge ist von Fadentinol und von Kolophoniumröhrenlötzinn Gebrauch gemacht worden.
2. Möglichst kleine Lötkolben, z. B. Spitzkolben, zu benutzen, um die Nachbaradern nicht zu beschädigen; dieses gilt besonders für die großen Endverschlüsse der hochpaarigen Fernsprechkabel, bei denen die Lötstifte eng gruppiert sind.
3. Die Erwärmung des Lötkolbens möglichst schwach zu halten, damit nicht durch hohe Wärme mehr Lot abschmilzt, als zur Verlötung eben erforderlich ist; dadurch wird zugleich der Gefahr vorgebeugt, daß die Lötstifte etwa infolge übermäßiger Erhitzung abschmelzen.

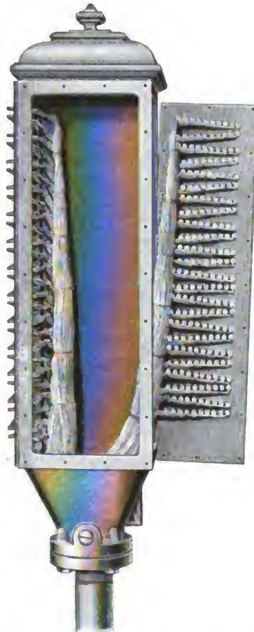
---

[1]) Zu vgl. die Ausführungen auf S. 238.

Es hat sich aber in der Praxis gezeigt, daß es nicht möglich ist, dem Lot nur eine so geringe Menge Flußmittel beizugeben, daß diese bei der Anlötung der Adern an die Lötstifte vollständig ohne jeden Rest verdampfen. Auch haben gelegentlich Messungen ergeben, daß selbst solche Niederschläge, die mit bloßem Auge überhaupt nicht zu erkennen sind, schon eine im Betriebe merkliche Verminderung der Isolation zur Folge haben können. Es bilden sich unter Umständen zwischen den einzelnen Lötstiften Strombrücken, die erst durch sorgfältiges Abbrühen beseitigt werden müssen; diese Arbeit sollte daher niemals unterlassen werden.

Zu der dritten Gruppe von Kabelendverschlüssen mit gleichzeitig als Klemmenbretter dienenden Verschlußplatten gehören zwei bei der R. T. V. in weitem Umfange für Fernsprechkabel eingeführte Typen, der Kastenendverschluß und der Röhrenendverschluß. Diese Art der Endverschlüsse bringt bei der Anbringung am Umschaltegestell den großen Vorteil mit sich, daß die Verteilerdrähte unmittelbar mit ihren Klemmen verbunden werden können, die Zwischenschaltung von Abschlußkabeln und besonderen Klemmenleisten usw. zu Schaltzwecken also vermieden bleibt. Voraussetzung für ihre Verwendung sind jedoch trockene Räume mit gleichmäßiger Temperatur, da die Isolierplatten sonst beschlagen und dann infolge Stromüberganges an den Klemmen Betriebsstörungen durch Mitsprechen entstehen. Die Aufstellung solcher Endverschlüsse in Kellern oder Bodenräumen ist daher unzulässig.

Abb. 122.



Bei anderen Telegraphenverwaltungen sind auch noch weitere Endverschlüsse eingeführt, diese unterscheiden sich indessen in der Hauptsache nur in den äußeren Formen und Abmessungen von den hier dargestellten Verschlüssen; grundsätzlich abweichende Konstruktionen waren in der Literatur nicht aufzufinden.

Der Kastenendverschluß ist aus Gußeisen in Form eines länglichen Kastens hergestellt, dessen untere, abgestumpfte Spitze mit einer entsprechenden Öffnung zur Einführung des Kabels versehen ist. Als Seitenflächen dienen Hartgummiplatten von 15 mm Stärke mit reihenförmig eingesetzten Klemmenstiften. Die vordere Wand ist zum Montieren des Endverschlusses

abnehmbar, ebenso der obere Deckel, um die Kabeladern nach dem Anlegen mit Isoliermasse abbrühen zu können. **Abb. 122** zeigt einen solchen Kastenendverschluß[1]) geöffnet mit angelegtem Hauptkabel. Die Abschlußkabel oder Verteilerdrähte werden auf den äußeren Flächen der Klemmenplatten in entsprechender Weise angeschaltet. Die Adernfolge bei der Beschaltung der Kastenendverschlüsse ergibt sich aus den auf den Außenflächen der Isolierplatten eingeschlagenen Nummern.

Aus **Abb. 123** ist noch eine andere, ebenfalls vielfach übliche Art der Hauptkabelbeschaltung im Endverschluß zu ersehen, bei der das Kabel nicht bereits unten vollständig in die einzelnen Adernpaare aufgelöst, sondern stufenweise aufgeteilt wird. Dieses Verfahren bietet zwar etwas größere Übersichtlichkeit, doch ist dieser Vorteil bei den fest abgeschlossenen Kästen nicht so wesentlich gegenüber dem großen Vorzug der ersteren Aufteilung, daß nämlich daselbst das Kabelende erheblich besser mit Isoliermasse abgeschlossen werden kann; dieses kommt ganz besonders für die mit Druckluft zu behandelnden Kabel in Betracht.

Abb. 123.



Für die Verwendung der beiden Seitenwände als Schaltbretter ist die Möglichkeit der besseren Führung der Verteilerdrähte maßgeblich gewesen, die Einrichtung der hinteren Platte allein für diese Zwecke würde bei den großen Kabeltypen wesentlich größere Abmessungen des Kastens bedingt haben. Ein Ausgießen dieser Endverschlüsse findet nur zum Abschluß des Kabels statt; hierbei muß aber sehr vorsichtig verfahren werden, damit die Ebonitplatten nicht erweicht werden. Auch das Abbrühen des Kabels soll dieserhalb nur mit schwach, bis auf etwa 120° C erwärmter Isoliermasse erfolgen. Dabei bleibt schon genug Masse auf den Papieradern haften, um sie ausreichend gegen die Aufnahme von Feuchtigkeit zu schützen.

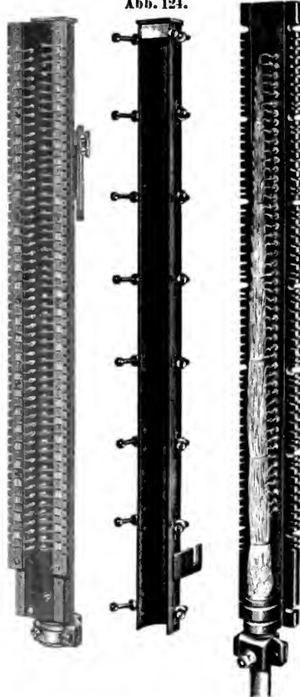
Die oben (S. 281 und 282) hinsichtlich der Abdichtung und des Anstrichs der Verschlüsse, sowie betreffs der Klemmschrauben und Lötstifte und des Isolationswiderstandes gegebenen allgemeinen Hinweise finden sinngemäß auch auf die Kastenendverschlüsse Anwendung.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Beschaffenheit der Isolierplatten. Es ist beobachtet worden, daß die Isolierfähigkeit von Platten, die der unmittelbaren Bestrahlung durch das Tages- oder Sonnenlicht ausgesetzt waren, teilweise nachgelassen hatte, wobei auch ihre sonst tiefschwarze Politur heller geworden war. An sich übt eine solche Bleichung des Hartgummis noch keinen nachteiligen Einfluß aus, eine Verschlechterung des Isolationszustandes tritt aber dann ein, wenn sich Ausscheidungen auf den Platten bilden. Anscheinend wird das Ebonit[2]) durch das Licht entvulkanisiert. Durch Oxy-

[1]) Die rechte Seitenwand ist an dem Modell abgenommen, um die Art der Beschaltung zu zeigen. — [2]) Zu vgl. S. 61.

dation des freigewordenen Schwefels bilden sich Tröpfchen von Schwefelsäure, die wieder Wasser aus der Luft anziehen, dann allmählich einen dünnen, leitenden Überzug auf der Platte bilden und außerdem auch die Klemmenstifte angreifen. Zur Fernhaltung solcher nachteiligen Veränderungen sind die Klemmentafeln nach Möglichkeit besonders vor den Einwirkungen der Sonnenstrahlen zu schützen und auch zweckmäßig noch durch Bestreichen mit Elektralack [1]) gegen die Luft abzuschließen. Etwaige Ausscheidungen sind mit trockenen Lederlappen sorgfältig abzureiben. Die Platten halten sich erfahrungsgemäß am besten gegen Luft, wenn sie gut poliert sind, die Hochglanzpolitur begünstigt auch am wenigsten eine Staubablagerung. Die Öffnungen für die Klemmenstifte sind bei der Fabrikation vor dem Polieren herzustellen und derart einzurichten, daß der untere Rand der Klemmen nicht auf der polierten Fläche selbst liegt, sondern in genau abgepaßte, eingedrehte Vertiefungen eingreift. Die Klemmen müssen mit ihren Rändern luftdicht in den Platten festsitzen.

Abb. 124.

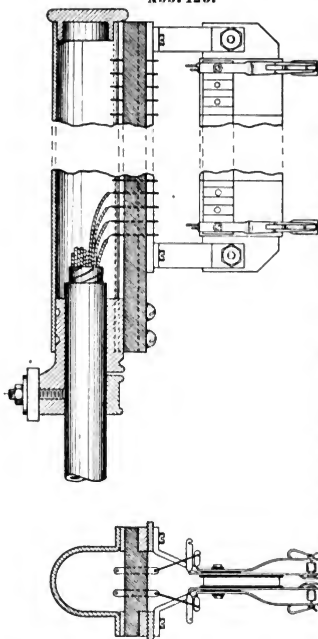


Während der gewöhnliche und der Kastenendverschluß für schwache und für starke Kabeltypen konstruiert werden, findet der Röhrenendverschluß bei der R. T. V. in Verbindung mit den Bleiverteilungsmuffen im Kabelkeller nur für die 50- (bzw. 56-) paarigen Abschlußkabel Anwendung; seine Ausführung und Beschaltung zeigt **Abb. 124.** Links ist die Rückseite mit den Lötstiften zu sehen — es werden jedoch auch Klemmschrauben verwendet —, rechts die Vorderseite mit dem aufgeteilten Kabel, das Mittelbild stellt den röhrenförmigen Eisenblechdeckel dar, der über das Kabel auf die Isolierplatte mit Gummidichtung aufgeschraubt wird. Der Übergangswider-

[1]) Elektralack ist nach „Turner und Hobart, Die Isolierung elektrischer Maschinen", Berlin 1906, S. 138, ein aus Ölen ohne Harzzusatz hergestelltes Produkt; es ist säure- und alkalibeständig, gibt eine glatte harte Oberfläche und erträgt bis 700° Hitze.

stand zwischen den einzelnen Klemmenstiften soll wie bei sämtlichen Endverschlüssen der R. T. V. mindestens 5000 bzw. 100 Megohm (s. S. 281) betragen. Die vorher hinsichtlich der Klemmen- und Lötverbindungen gemachten Ausführungen gelten ebenso für diese Röhrenendverschlüsse. Die Doppeladern werden im allgemeinen in zwei Reihen angeordnet, doch kann auch eine kürzere Form der Endverschlüsse mit vier Reihen gewählt werden, wenn das Umschaltegestell dazu passend gebaut ist.

Abb. 125.



Die Beschaltung wird entweder derart ausgeführt, daß links sämtliche a-Adern und rechts sämtliche b-Adern angelegt werden, oder aber, wie es auch bei dem dargestellten Modell geschehen ist, in der Weise, daß die zusammengehörigen a- und b-Adern auf derselben Seite liegen und die geraden und ungeraden Adernpaare je auf die beiden Seiten verteilt werden. Neuerdings werden die Bezeichnungen nur noch so angebracht, daß links sämtliche a-Adern und rechts die b-Adern angelegt werden. Die verschiedenen Arten der Beschaltung sind aber bei sorgfältiger Ausführung ziemlich gleichwertig und im übrigen Ansichts- und Erfahrungssache. Um beim Anlöten der Adern die Isolierplatte vor Niederschlägen zu schützen, erhalten die angelieferten Endverschlüsse aus besonderer Vorsicht noch eine Papierschablone, die nach der Anlegung der Adern abgerissen wird. Die Lötstifte dürfen nicht zu kurz sein, damit bei späteren Lötarbeiten die Isolation nicht gefährdet wird. Die Zopfform des Kabels ist möglichst glatt und schlank zu halten, so daß auf jeden Fall eine Berührung der Adern mit dem Eisendeckel vermieden bleibt. Die Kabeloberfläche ist daher zweckmäßig vor dem Auflegen des Deckels mit einer entsprechenden Leere zu prüfen; 2 bis 3 mm Zwischenraum zwischen Kabel und Eisenmantel sind ausreichend. Nach Anlegen der Adern müssen die Innenfläche des Blechdeckels, die Lötstifte, die Adern und die Isolierplatte gründlich mit heißer Isoliermasse abgedämpft werden.

Die Aufhängevorrichtung der Endverschlüsse ist verstellbar eingerichtet, um Ungleichheiten in den Abmessungen der Umschaltegestelle Rechnung zu tragen; die Endverschlüsse selbst erfordern wenig Raum und sind bequem anzubringen.

Das in der ersten Zeit der Verwendung solcher Endverschlüsse vorgenommene Ausgießen der aufgeschraubten Eisenröhre mit Isoliermasse kann in den trockenen Umschalteräumen, ebenso wie bei den Kastenendverschlüssen, ohne Gefahr unterbleiben. Hierdurch werden Kosten und Zeit erspart und die Eingrenzung und Beseitigung von Störungen erleichtert. Die nach dem Abbrühen an den Adern festhaftende dünne Schicht Isoliermasse schützt das Kabel nach den Erfahrungen der Praxis ausreichend.

Abb. 126.



Abb. 127.



Um die Feinsicherungen am Umschaltegestell bereits vor den Verteilerdrähten anbringen zu können, werden die Röhrenendverschlüsse nach Bedarf mit Sicherungsleisten versehen. Die Verschlüsse und Leisten werden getrennt geliefert, damit bei dem Einbau zuerst der Endverschluß fertig eingeschaltet und durchgeprüft werden kann, ehe die Sicherungsleisten angebracht werden. **Abb. 125** [1]) zeigt die Konstruktion eines solchen Endverschlusses mit Sicherungsleiste und Lötstiften.

Bleiverteilungsmuffen besonderer Bauart.

Die Bleiverteilungsmuffe besonderer Bauart besteht aus einer Bleihülse, deren unteres Ende zur Aufnahme des Hauptkabels halsförmig verengt ist. Der obere erweiterte, allgemein 80 mm lange Teil wird durch eine Platte aus Isoliermaterial, die mit Löchern für die Verteilungskabel versehen ist, mit einem kräftigen Gummiring gegen den mittleren Teil der Muffe fest abgeschlossen, so daß beim Ausgießen des über dieser Abschlußplatte und unter dem oberen Zinkblechdeckel befindlichen Raumes von der Isoliermasse nichts durchsickern kann. Um die Muffe auch in ihrem unteren Teile ausgießen zu können, ist an entsprechender Stelle eine verschließbare Öffnung vorhanden. **Abb. 126**

[1]) Nach Hersen u. Hartz, Die Fernsprechtechnik der Gegenwart, Braunschweig 1910, S. 118.

zeigt eine solche Bleiverteilungsmuffe für ein 250 paariges Hauptkabel und für fünf 50 paarige Abschlußkabel. (Die eigentliche Bleimuffe ist am Modell heruntergelassen, um die Montage zu erläutern.) Die Muffe wird an ihrem unteren Ende in gewöhnlicher Weise mit dem Bleimantel des Hauptkabels verlötet. Dadurch, daß die Muffe nur in dem oberen und unteren Teile mit Isoliermasse ausgegossen wird, werden einerseits die Ein- und Austrittsstellen der Kabel sicher gegen das Eindringen von Feuchtigkeit geschützt, während andererseits die Kabelverbindungsstelle selbst von der Masse nicht berührt

Abb. 128.



wird, so daß sich später eine Lösung der Kabeladern zur Fehlerbeseitigung oder zu Meßzwecken bequem ausführen läßt. Beim Ausgießen selbst ist durch gleichzeitiges vorsichtiges Erwärmen des Bleimantels dahin zu streben, daß die Masse möglichst tief in das Kabelende eindringt, da sonst eine spätere Luftdruckprüfung der Kabel erschwert wird. Diese runde Form der Muffe würde jedoch bei den hochpaarigen Kabeln für die Eingrenzung von Fehlern in der inneren Reihe der Abschlußkabel nicht günstig sein. Auch eine etagenartige Anfertigung der Verbindungsstellen würde daran nicht viel bessern, vielmehr die Muffe nur unhandlich machen. Aus diesem Grunde ist man für die Kabel mit mehr als 350 Adernpaaren zu der rechteckigen Form des oberen Muffenteiles und der Abschlußplatte übergegangen, wie **Abb. 127** veranschaulichen soll.

In welcher Weise die Kabelspleißstellen in den Bleiverteilungsmuffen besonderer Bauart anzufertigen sind, zeigen die Abbildungen. Zur besseren Übersicht ist darauf zu achten, daß die in der Abschlußplatte der Reihe nach aufeinander folgenden Löcher für die Abschlußkabel auch stets für je 50 aufeinander folgende Adernnummern des Hauptkabels verwendet werden. Die Muffen werden im Kabelkeller aufrecht stehend mittels Schellen an eisernen Gestellen in ausreichenden Abständen voneinander festgelegt, um ein bequemes Arbeiten an den einzelnen Spleißstellen zu ermöglichen. Eine derartige Kabelaufteilung gibt ein durchaus übersichtliches Bild über die gesamte Kabeleinführung, sie erfordert in Verbindung mit den einfachen Abschlüssen für die Abschlußkabel im Umschalteraume verhältnismäßig wenig Platz, bietet bei großer Betriebssicherheit eine erhöhte Aufnahmefähigkeit auch beschränkter Räume und ist außerdem noch bedeutend billiger als die früher übliche Hochführung und Aufteilung der Kabel. Diese neue Art des Abschlusses von Fernsprechkabeln hat sich bei der R. T. V. gut bewährt und über manche örtliche Schwierigkeiten hinweggeholfen. In **Abb. 128** ist eine solche Kabeleinführung [1]) dargestellt.

Kabelüberführungssäulen.

Die Verbindung zwischen den an Landstraßen oder an Eisenbahnen verlaufenden oberirdischen Linien und den unterirdisch oder unter Wasser geführten Kabellinien erfolgt im allgemeinen unter Benutzung von hölzernen Überführungssäulen. Diese Säulen stellen aber im Grunde nur einen äußeren Schutz gegen Beschädigungen und Witterungseinflüsse für die Enden der Kabellinien und für die an diese noch besonders angeschalteten Apparate dar. Sie bilden also nicht, wie z. B. die Kabelendverschlüsse, einen unmittelbar an das Kabel geschalteten Teil der eigentlichen Kabelanlage, sondern gewissermaßen nur eine Art Schutzbehälter für ihre Abschluß- und Übergangsstellen. Solche Einrichtungen können in den verschiedensten Formen ausgeführt werden. Bei der R. T. V. sind zwei Arten der Überführungssäulen gebräuchlich, die im Bedarfsfalle je nach dem Umfange der Kabelanlage und den örtlichen Verhältnissen gewählt werden.

Die Säule besteht in ihrer einfachen Form aus zwei 7 oder 8,5 m langen, mit einem fäulniswidrigen Stoffe zubereiteten kiefernen Hölzern, die, oben bis auf etwa 8 cm zusammenlaufend, schräg geneigt zueinander im Erdboden eingegraben werden, und deren Zwischenraum auf beiden Seiten durch Holzbretter verkleidet wird. Am oberen Teile wird ein kastenartiger Raum ausgeschnitten und vorn durch eine Tür mit Gummiliderung verschlossen. In seinem Innern befinden sich in versetzter Stellung Messingdoppelklemmen auf Ebonitunterlagen und über diesen je ein durch die Wandung hindurchgreifendes Hartgummirohr mit Hartgummiglocke; diese ist außerhalb des Kastens nach unten geöffnet. Die Säule wird mit heller Ölfarbe gestrichen und mit einem Zinkdach abgedeckt. Die in die Säule geführten Kabel werden innerhalb des Kastens aufgeteilt, und zwar werden die Guttaperchakabeladern direkt an die Klemmen geführt, dagegen die Faserstoff- und Papierkabel zunächst durch Endverschluß oder Muffe mit einem kurzen Gummi-

---

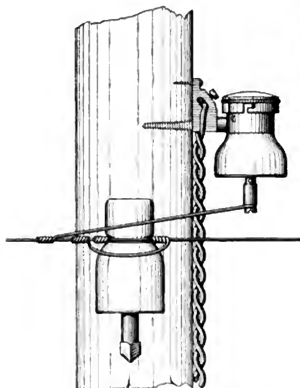
[1]) Nach Hersen-Hartz (Anm. 1, S. 287), S. 116.

kabel verbunden, dessen Adern dann an den Klemmen festgelegt werden. Bei der Montage sind die einzelnen Litzendrähte der Guttaperchaadern vorher zu einem Ganzen zu verlöten, andererseits die Gummikabelenden im oberen Teile der Säule hakenförmig nach unten umzubiegen und ihre freien Adern noch mit Isolierband zu umwickeln. Von den Klemmen werden einzelne, mit geteertem Hanf umsponnene Guttaperchadrähte oder andere gleichwertige Drähte durch die Ebonitrohre gezogen und an den Außenseiten der Säule an den dort unterhalb dieser Rohre eingeschraubten Isoliervorrichtungen (hakenförmige Schraubenstützen mit Doppelglocken III) mit den blanken Außenleitungen verbunden und verlötet.

Für ein- oder dreiadrige Kabel können die Säulen in noch einfacherer Form aus zwei gekuppelten Telegraphenstangen hergestellt werden, indem die beiden Hölzer zur Hochführung des Kabels an ihrer Berührungsfläche etwas ausgekehlt und oben soweit ausgeschnitten werden, wie es zur Herstellung eines kleinen kastenförmigen Raumes erforderlich ist.

Zum Schutze der Kabel, Gebäude, Betriebseinrichtungen und der die Apparate bedienenden Personen wird es erforderlich, beim Übergange der Kabel in oberirdisch geführte Leitungen besondere Blitzschutzvorrichtungen in die einzelnen Kabeladern einzuschalten, welche die auf der Freileitung entstehenden atmosphärischen Ladungen vor Eintritt in das Kabel gefahrlos zur Erde ableiten sollen. Die an einen zweckmäßigen Blitzableiter für Kabelleitungen zu stellenden Anforderungen können folgendermaßen kurz zusammengefaßt werden:

Abb. 129.

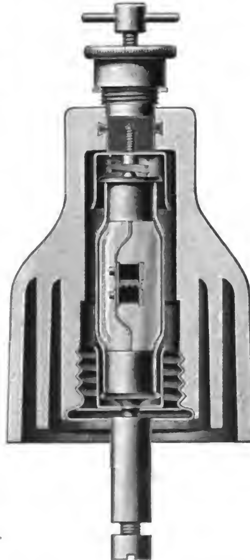


1. Die atmosphärische Elektrizität muß sicher zur Erde abgelenkt werden, ehe die Spannung eine gefährliche Höhe erreicht; es ist jedoch zu berücksichtigen, daß auch bei den höchsten Betriebsspannungen eine Ableitung noch nicht erfolgen darf; der Blitzableiter darf also trotz großer Empfindlichkeit für atmosphärische Entladungen keine unbeabsichtigte Erdverbindung zulassen und soll nur im Augenblick einer Entladung wirken, auch soll im Falle der Wirkung oder gar Zerstörung des Blitzableiters ein dauernder Erdschluß nach Möglichkeit vermieden werden.
2. Die Abmessungen des Blitzableiters sollen tunlichst gering sein, auch muß die Auswechselung eines beschädigten Blitzableiters bequem auszuführen sein.

Die Größe des Erdplattenwiderstandes übt auf die Wirkung des Blitzableiters innerhalb der im allgemeinen zulässigen Grenzen der Erdleitungswerte keinen merklichen Einfluß aus. Es ist jedoch zweckmäßig, diesen Widerstand so klein zu machen, daß in der Nachbarschaft kein besser leitender Weg zur Erde gefunden werden kann.

Auf die Konstruktion der Blitzableiter soll hier nicht näher eingegangen werden, es wird dieserhalb auf die betreffende Literatur[1]) verwiesen. Für Überführungssäulen kommen entweder Plattenblitzableiter oder neuerdings vielfach Luftleerblitzableiter in Anwendung. Bei kleineren Anlagen werden sie allgemein als sogenannte Stangenblitzableiter konstruiert, deren Einschaltung aus **Abb. 129** ersichtlich ist. **Abb. 129a** zeigt den Längsschnitt eines solchen Blitzableiters neuer Form mit Luftleerpatrone.

Abb. 129 a.



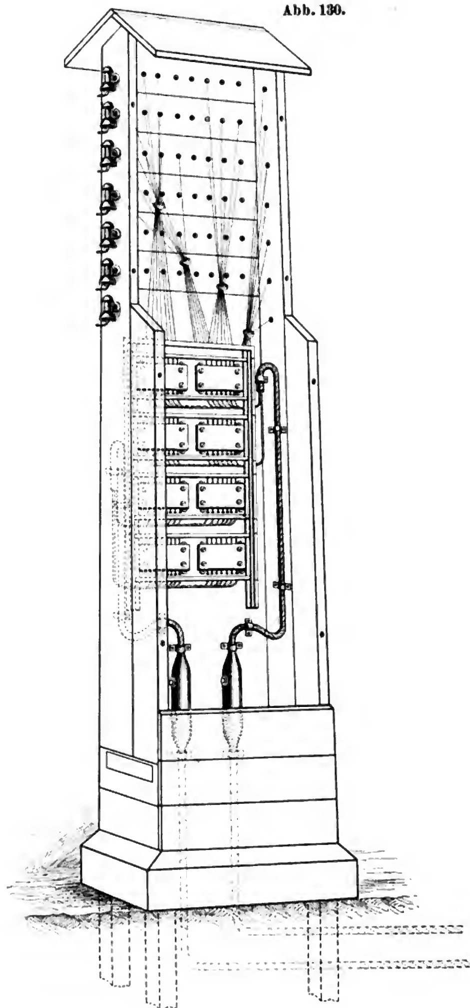
Wenn eine größere Anzahl von unterirdischen Leitungen in oberirdische überführt werden soll, so werden bei der R. T. V. geräumigere Überführungssäulen großer Form mit oder auch ohne Vorbau verwendet. **Abb. 130** zeigt die äußere Ansicht einer solchen Säule mit Vorbau in geöffnetem Zustande mit zwei eingeführten 28 adrigen Kabeln, die je zu zwei 14 adrigen Kabeln aufgeteilt werden und dann, zopfartig abgebunden, zu den einzelnen Blitzableitern[2]) verlaufen. Die Herstellung der Säulen erfolgt aus Verbandholz mit Vorder- und Rückwand aus gespundeten Brettern. Der untere Teil ist an vier in den Erdboden eingestellten Winkeleisen, die durch Diagonalverstrebungen verstärkt werden, befestigt.

Man sieht bei diesen Säulen jetzt vielfach von dem sonst üblichen Abschluß der Faserstoff- und Papierkabel in Endverschlüssen ab und verbindet die Erdkabel in Eisenmuffen unmittelbar mit den Abschlußkabeln. Endverschlüsse haben aber andererseits den Vorteil, daß bei Schadhaftwerden einzelner Adern Umschaltungen auf betriebsfähige Adern schneller auszuführen sind.

Der obere und der untere Teil der Säule werden mit verschraubbaren Türen zugedeckt und die ganze Säule mit einer überragenden Bedachung aus

[1]) Zu vgl. Karraß, Geschichte der Telegraphie, I. Teil, Braunschweig 1909, 6. Abschnitt; Hersen-Hartz (Anm. 1, S. 287), 14. Abschnitt; ferner E. T. Z. 1893, S. 319, 333. — [2]) Neuerdings kommen auch in den Überführungssäulen Luftleerblitzableiter zur Verwendung; Luftleerblitzableiter werden wie die Kohlenblitzableiter als Nebenschluß an die Leitung geschaltet.

Abb. 130.



Brettern mit Dachpappeverkleidung versehen. Der untere Vorbau soll im Verein mit der Bedachung den Innenraum der Säulen auch dann vor Witterungseinflüssen schützen, wenn an den Kabeladern gearbeitet wird. In diesen großen Säulen werden die Blitzschutzvorrichtungen entsprechend der Aufteilung der Kabel im allgemeinen in Sätzen zu sieben Stück in Schutzkästen auf einem Gestell aus eisernen Rahmen mit guter Erdleitung angebracht. Von den Blitzableitern aus (Platten- oder Luftleerblitzableitern) werden isolierte Drähte zu besonderen Endisolatoren an den Wänden des oberen Säulenabschnittes geführt.

Abb. 131.

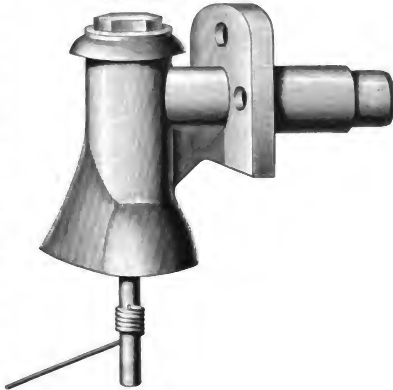
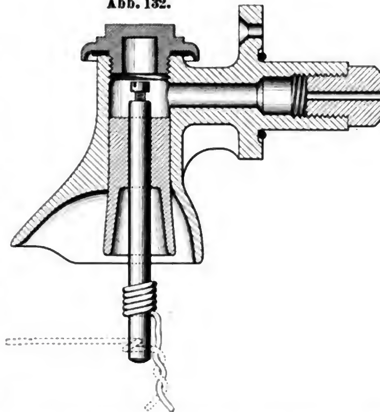


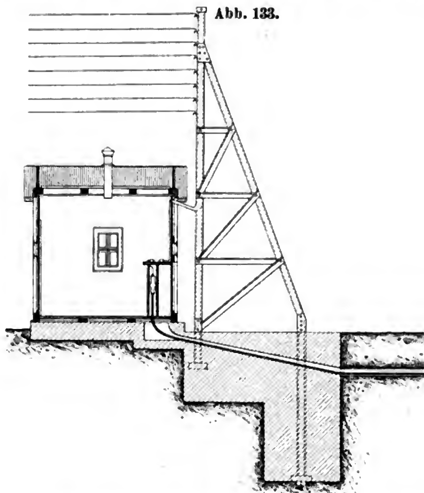
Abb. 132.



Früher wurden in den Überführungssäulen auch noch S c h m e l z s i c h e r u n g e n untergebracht. Rücksichten auf den praktischen Betrieb haben es jedoch im Laufe der Zeit bedenklich erscheinen lassen, die Grobsicherungen in die von den Betriebsstellen oft weit entfernten Überführungssäulen zu verlegen, da die Störungen nicht nur länger dauerten und schwerer zu beseitigen waren, sondern auch häufiger auftraten.

Die erwähnten E n d - i s o l a t o r e n stellen die Verbindungsstelle der ober- und unterirdischen Leitung dar, sie haben gegenüber den Ebonitrohren und Porzellanglocken der anderen Säulenart neben ihrer einfachen Beschaltung und dem geringeren Platzbedarf den weiteren Vorzug, daß außerhalb der Säule ausschließlich blanker Draht verwendet wird, eine Verwitterung isolierter

Drähte also nicht stattfinden kann. Der Isolator, von dem die **Abb. 131** die Außenansicht und die **Abb. 132** einen Längsschnitt der neuesten Ausführung darstellen, hat die Form einer Doppelglocke. Er besteht aus einem schwarz lackierten, gußeisernen Mantel, einer inneren Hartgummiröhre, der Leitungsstange, dem oberen verschraubbaren Verschlußdeckel und einem hohlen seitlichen Ansatz zur Befestigung an der Säulenwand und zur Heranführung des isolierten Drahtes an die Klemmschraube der Leitungsstange. Der untere, erweiterte Teil des äußeren Mantels hat auf der der Säule abgekehrten Seite eine sogenannte Regennase, die das Tropfwasser nach beiden Seiten von der Freileitung ablenken soll. Hierdurch wird vermieden, daß Tropfwasser vom


Abb. 133.

Isolator auf den Leitungsdraht spritzt und dann die inneren Isolierflächen des Endisolators benetzt; die Einrichtung soll also eine dauernd gute Isolation, die mit mindestens 500 Megohm beansprucht wird, gewährleisten. Die Verbindung mit der Außenleitung erfolgt in der Weise, daß von der Abspannstange für die oberirdischen Leitungen aus ein 1,5 mm starker Bronzedraht zu dem unteren Ende der Leitungsstange geführt, durch das daselbst befindliche Loch gezogen und dann mit einem auf dieser Leitungsstange aufgelöteten Stück Bronzedraht zusammengedreht und gut verlötet wird.

Diese großen Überführungssäulen stellen vom technischen Standpunkte aus zwar eine sehr betriebssichere und übersichtliche Einrichtung dar, der Nachteil liegt jedoch in dem hohen Beschaffungspreise, so daß man sich nur in Fällen besonderen Bedürfnisses zur Verwendung solcher Anlagen entschließen wird. Es läßt sich aber wohl unter Benutzung der Vorzüge der

beiden vorher beschriebenen Säulenarten für mittlere und kleine Kabelanlagen eine wünschenswerte Vereinfachung und Verbilligung solcher Einrichtungen z. B. in der Weise erzielen, daß eine kastenartige Säule der erforderlichen Größe, unter Umständen aus kräftigen Telegraphenstangen, hergestellt wird und in dieser dann nur der Abschluß und die Aufteilung der Kabel bis zu Endisolatoren erfolgen, wogegen die Blitzschutzvorrichtungen als Stangenblitzableiter mit Luftleerpatrone an den benachbarten Abspannstangen angebracht werden.

Abb. 134.

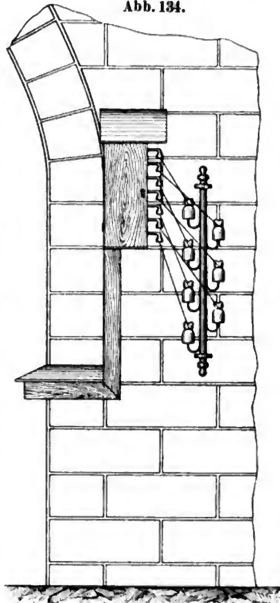


Abb. 133 zeigt eine in Bayern [1]) vielfach übliche Konstruktion von Kabelüberführungseinrichtungen. Das Gestänge zur Aufnahme der oberirdischen Leitungen ist aus eisernen I-Trägern mit horizontalen Querträgern und diagonalen Winkeleisenversteifungen hergestellt; die Fußpunkte sind in Betonunterbau eingelassen. Die Kabel werden in Eisenschutzrohren in ein besonderes Kabelhäuschen aus Wellblech mit Tür und Fenstern gebracht und dort abgeschlossen. Die Verbindung mit den Außenleitungen erfolgt durch Okonitkabel, die in Blechschächten zu den Querträgern des Abspanngestänges geführt werden. Bei nur einem Kabel wird eine einfache Kabelsäule mit Gitterwerkkonstruktion in Betonfundament verwendet, in deren unterem, mit Eisenblech verkleidetem Teile das Kabel seinen Abschluß findet.

Eisenkonstruktionen und Kabelhäuschen sind auch bei anderen Verwaltungen gebräuchlich. Sie sind zwar wesentlich teurer in ihrer Aufstellung und bei einer unter Umständen notwendigen Verschiebung, bieten aber dafür in elektrischer und mechanischer Hinsicht erhöhte Sicherheit; namentlich bei Schaltarbeiten sind diese Wellblechhäuschen von großem Vorteil.

Allgemein empfehlenswert für Kabelüberführungsanlagen ist noch die Herstellung einer Sprechverbindung zwischen der Überführungsstelle und dem Amt, damit bei Prüfungen und Schaltarbeiten Fehler schnell und leicht aufgeklärt werden können. Eine solche Einrichtung läßt sich in einfacher Weise mit Fernsprecher oder Summer vorsehen, der dann nach Bedarf in eine beliebige Kabelader eingeschaltet werden kann. In Kabelhäuschen werden

[1]) Nach der dienstlichen Anordnung der Königl. Bayerischen Verwaltung für den Bau von Telegraphen- und Telephonleitungen (1903).

zweckmäßig ortsfeste Apparate aufzustellen sein, für andere Konstruktionen sind leichte, tragbare Systeme zu verwenden, zu deren Einschaltung nur die Klemmen usw. in der Säule angebracht werden.

Die Verbindung oberirdischer Leitungen mit den durch einen Tunnel verlegten Kabeln erfolgt an den Tunnelportalen unter Benutzung von Tunnel-Überführungskästen, wie sie z. B. **Abb. 134** in der Ausführungsform der R. T. V. darstellt. Dieser Kasten, dessen Abmessungen sich nach der Zahl der vorhandenen und später voraussichtlich hinzukommenden Leitungen — bei Verwendung von Faserstoff- oder Papierkabeln auch nach der Zahl der anzubringenden Lötmuffen — richten und im Innern eine übersichtliche Führung der einzelnen Leitungsdrähte gestatten müssen, wird aus geöltem, astfreiem Kiefernholz hergestellt und erhält an der Vorderseite eine verschließbare Tür mit Gummiliderung und ein geteertes Holzdach. An der Innenseite der Rückwand wird zur Verbindung der durch Isolierrohre in den Kasten eintretenden Außenleitungen mit den Kabeladern eine kräftige Leiste mit Doppelklemmen auf Ebonitunterlagen angebracht. Neben dem Kasten wird ein Rohrständer am Mauerwerk so befestigt, daß die lotrechte Ebene durch die eisernen Stützen mit der Wand des Tunnelportals einen Winkel von 45° bildet; diese Stellung ist notwendig, um Kreuzungen der Leitungsdrähte zu vermeiden. Die oberirdischen Leitungen endigen an jeder Seite des Tunnels an einem mit Stangenblitzableitern ausgerüsteten Abspanngestänge und gehen dann mit dünner Leitung zu den Isolatoren des Rohrständers über. An diesen erfolgt die Verbindung mit den aus dem Überführungskasten kommenden isolierten Einzeldrähten.

Überführungseinrichtungen für Fernsprechkabel.

Im Prinzip könnten auch die Übergangsstellen zwischen den vom Amt aus in Kabeln verlaufenden und oberirdisch weitergeführten Fernsprechanschlußleitungen in die vorstehend beschriebenen Kabelüberführungssäulen gelegt werden, wenigstens soweit es sich um Fernsprechleitungen an Holzstangen handelt. Man hat jedoch wegen der Umständlichkeit der Aufstellung und Einrichtung dieser Säulen, wegen der hohen Kosten und des immerhin nicht unbeträchtlichen Platzerfordernisses und namentlich wegen der oft wechselnden Belastung der einzelnen Linienzüge von solchen Anlagen abgesehen und auch für diese Übergangsstellen die für Linien an Dachgestängen konstruierten eisernen Überführungskästen[1]) gewählt. Die Form und Einrichtung solcher Vorrichtungen sind außerordentlich mannigfaltig, sie sind je nach der Zahl und Type der abzuschließenden Kabel, dem Aufstellungsort und der Art der Weiterführung der oberirdischen Leitungen verschieden. Jede einzelne Verwaltung hat solche Anlagen nach ihren Bedürfnissen und Erfahrungen, teilweise auch in mehrfach wechselnder Form ausgebildet. Man findet kasten-, kappen- und zylinderförmige Gehäuse, aus Eisen oder aus Holz und Eisen, mit den verschiedenartigsten Vorrichtungen zur Befestigung, entweder auf dem Kopfe oder an den Seiten der Gestänge oder auch unterhalb der Dächer. Es gibt Gehäuse mit unmittelbar als feste Be-

[1]) Zu vgl. die Ausführungen auf S. 145.

standteile eingebauten Kabelendverschlüssen und auch solche mit besonders anzubringenden Endverschlüssen oder Muffen usw. Gerade auf diesem Gebiete hat die Tätigkeit der Ingenieure und Erfinder zur Anpassung an die örtlichen Verhältnisse in großem Umfange eingesetzt, so daß eine auch nur annähernd vollständige Übersicht der Konstruktionen viel Raum in Anspruch nehmen würde. Es soll hier von einem solchen Versuch abgesehen und nur eine Zusammenfassung der wichtigsten Gesichtspunkte gegeben werden.

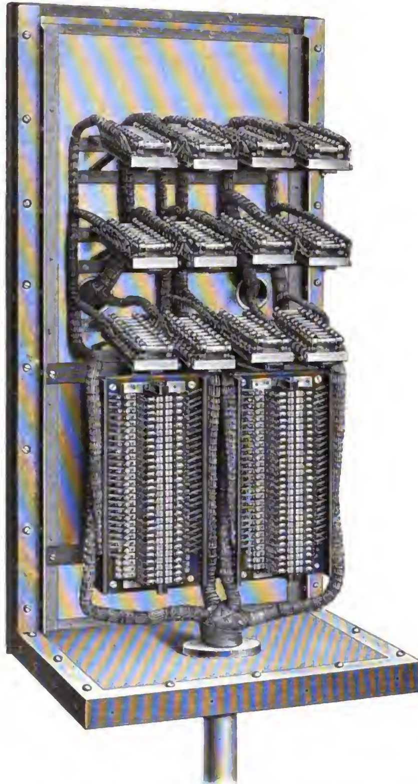
Die allgemeinen Anforderungen an Überführungsvorrichtungen kann man etwa folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die Kabelabschlüsse und Apparate sollen in möglichst luftdichten Gehäusen gesichert nach außen abgeschlossen sein.
2. Die Isolation muß dauernd auf ausreichender Höhe erhalten bleiben.
3. Die Kabel und Apparate müssen gegen gefährliche Wirkungen der atmosphärischen Elektrizität ausreichend geschützt werden.
4. Die Beschaltung und die Prüfung der einzelnen Kabeladern müssen in einfacher und übersichtlicher Weise möglich sein.
5. Die ganze Vorrichtung soll bei möglichst geringem Umfange und Gewicht bequem anzubringen und auszuwechseln und gegen unbefugtes Öffnen gesichert sein.

Bei der R. T. V. wird im allgemeinen die Form des schrankförmigen Kastens bevorzugt, doch sind auch Gehäuse mit halbzylindrischem Mantel im Gebrauch. Wie auf S. 145 erwähnt worden ist, werden die Überführungskästen nur noch für 50 (bzw. 56) paarige Kabel gebaut. Man unterscheidet in der Hauptsache die Überführungskästen gewöhnlicher Form für trockene Räume und die wettersicheren Überführungskästen zur Verwendung im Freien; auf S. 132 ist bereits als wesentlicher Grund für die Anbringung der Kästen an den Dachgestängen das Fortfallen der Benutzung eines besonderen Raumes unter dem Dach angegeben worden. Die Kästen sind zur Aufnahme der Blitzableiter und Sicherungen, sowie unter Umständen auch der Kabelendverschlüsse oder Übergangsmuffen bestimmt, sie stellen also, ebenso wie die Kabelüberführungssäulen, nur äußere eiserne Schutzbehälter für die Kabelabschlüsse und Apparate dar. Die Blitzableiter, Sicherungen und Endverschlüsse sind jedoch nicht fest eingebaut, so daß der Kasten bei geringerer Leitungszahl nur dem augenblicklichen Bedürfnis entsprechend ausgerüstet zu werden braucht. Die Vorder- und Seitenwände der Kästen sind zum Abschrauben eingerichtet. Die Kästen für trockene Räume sind in ihrem oberen Teile vorn mit einer Tür versehen, dagegen bildet bei den wettersicheren Überführungskästen die ganze vordere Wand die Tür. Diese letzteren sind wesentlich niedriger als diejenigen der gewöhnlichen Form, da die Endverschlüsse und Muffen nicht in ihnen selbst, sondern an einer anderen geeigneten Stelle, z. B. unter dem Dache, geschützt untergebracht werden sollen; aus diesem Grunde können die Kästen bedeutend kleiner und leichter gebaut und infolgedessen auch bequemer an den Gestängen befestigt werden. **Abb. 135** und **136** zeigen einen solchen bei der R. T. V. vielfach gebräuchlichen wettersicheren Überführungskasten, beschaltet mit Grobsicherungen, Feinsicherungen und Kohlenblitzableitern und mit abgenommenem Eisenmantel, sowie in Seitenansicht mit geöffneten Türen. Die wettersicheren Gehäuse erhalten eine zweifache oder sogar eine dreifache Wandung mit zwischenliegenden Luft-

räumen; bei letzterer Bauart wird der Zwischenraum zwischen den beiden inneren Wänden außerdem noch mit einem schlechten Wärmeleiter ausgefüllt. Auf diese Weise können die Kabelenden und Apparate wirksamer gegen die

Abb. 135.

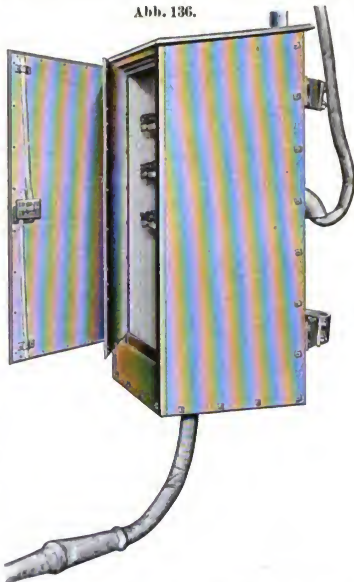


Einwirkungen der Witterungsunterschiede geschützt werden. Der Ein- und Austritt der Kabel wird durch kleine röhrenförmige, luftdicht abzuschließende Buchsen im Boden und an der Rückwand des Kastens vermittelt. An der Rückwand trägt der Kasten noch passende Schellen oder Haken zur Befesti-

gung am Eisen- oder Holzgestänge oder an eisernen Trägern. Um einer zu hohen Erwärmung des Innenraumes infolge der Bestrahlung durch die Sonne vorzubeugen, sind in der äußeren Wand oben und unten Öffnungen vorgesehen, die ein Strömen der Luft in dem Raume zwischen der äußeren und inneren Wandung ermöglichen.

Als Blitzschutz werden für solche Fernsprechüberführungskästen im allgemeinen Kohlenblitzableiter verwendet. Zahlreiche Betriebserschwernisse haben jedoch neuerdings die R. T. V. dazu geführt, diese Blitzableiter an das andere Ende der Kabeladern in die Ämter zu verlegen, wo sie sich leichter und schneller auswechseln lassen. Eine solche Maßnahme ist auch schon deshalb unbedenklich, weil diese Blitzableiter bereits auf Spannungen ansprechen, bei denen die Isolierhülle der Kabel noch nicht durchschlagen wird. Der Blitzschutz der Kabel wird noch ausreichend durch den an den einzelnen Grobsicherungen der R. T. V. vorhandenen Grobblitzableiter bewirkt. Auch die Feinsicherungen werden aus dem gleichen Grunde nicht mehr in den Überführungskästen untergebracht. Es kommt dabei noch in Betracht, daß der Feinsicherungsschutz für die Kabel selbst ohne jeden Wert ist, da diese ganz erheblich stärkere Ströme aushalten, als sie für die Konstruktion von Feinsicherungen maßgeblich sind, und auch die Stromstärke, auf welche die Grobsicherungen schon ansprechen, noch ohne Nachteil ertragen.

Abb. 136.



Die Verbindung der Kabeladern oder der Sicherungen mit den oberirdischen Leitungen erfolgt in der Weise, daß die Gummiabschlußkabel aus der Rückseite der Kästen heraus — bei ihrer Anbringung unter dem Dach in einfachen Kabelschächten — an die Querträger der Gestänge geführt, dort in geeigneter Weise, je nach der Größe der Querträger und dem Abgange der Leitungen, aufgeteilt und an den Isolatoren mit den blanken Freileitungen verbunden werden.

Im allgemeinen sieht man jetzt von dem Abschluß der hochzuführenden Kabel in Endverschlüssen ganz ab und verbindet diese Kabel mit ihren zu

den Blitzableitern oder Sicherungen führenden Zwischenabschlußkabeln in einfacher Weise in Bleimuffen, die mit Isoliermasse ausgegossen werden, wie z. B. Abb. 136 zeigt. Auf diese Weise, sowie aus dem Grunde, daß jetzt die Feinsicherungen und Kohlenblitzableiter in die Ämter verlegt und in den Überführungskästen nur noch die Grobsicherungen untergebracht werden, können die Kästen auch erheblich kleiner und leichter gebaut werden. Wünschenswert würde außerdem noch der Fortfall der Gummiabschlußkabel sein. Dieses ließe sich vielleicht durch Zusammenlegung eines Endverschlusses, z. B. in

Abb. 137.



Form des in Abb. 124 dargestellten Röhrenendverschlusses, mit den Grobsicherungen auf einer gemeinsamen Grundplatte ermöglichen, so daß das Papierkabel ohne Zwischenkabel in das Überführungsgehäuse geführt und dann nur noch die zum Gestänge führenden Kabel benötigt würden. Wie bereits auf S. 114 erwähnt worden ist, werden als Abschlußkabel für die Weiterführung zu den Gestängen gern Gummikabel mit Gespinstmantel verwendet. Zweckmäßig wäre vielleicht die Herausführung von einzelnen Okonitdrähten zum Gestänge, etwa zur besseren Übersichtlichkeit durch ein Lochbrett innerhalb des Kastens. Es hat sich nämlich gezeigt, daß die Gummikabeladern im Freien mehr oder weniger schnell ihre Isolation ver-

lieren [1]); es würde also der Ersatz einzelner schlechter Adern leichter und billiger erfolgen können. Indessen wird von der R. T. V. je nach den örtlichen Verhältnissen und den gewonnenen Erfahrungen hinsichtlich der Ausführung und Beschaltung der Überführungskästen ein ausreichender Spielraum gelassen; eine einheitliche Konstruktion ist zurzeit noch nicht eingeführt worden.

Die Kabelüberführungen werden nicht nur in Fernsprechnetzen mit gemischter Verteilung, sondern auch in Netzen mit sonst im allgemeinen rein unterirdischer Führung der Anschlußleitungen verwendet, wenn es sich z. B. in entlegenen Vororten mit offener Bebauung darum handelt, einen in sich abgeschlossenen Block zum Anschluß an einen Hauptverteiler durch eine oberirdische Linie an Holzstangen oder Dachgestängen zu versorgen; hierauf ist früher (S. 145) schon hingewiesen worden. Solche Einrichtungen können gegebenenfalls auch für Fernsprechverbindungsleitungen mit Vorteil Anwendung finden.

Zum Vergleich soll noch durch **Abb. 137** das Beispiel einer kleinen amerikanischen Kabelüberführung [2]) dargestellt werden, wie sie in dieser oder ähnlicher einfachen Weise namentlich beim Übergange von Luftkabeln auf Freileitungen verwendet wird. Das Kabel ist oben auf der Stange durch ein kappenartiges Gehäuse mit kleinem Endverschluß abgeschlossen, die einzelnen Adern sind durch isolierte Drähte mit den darunter kranzförmig angeordneten Isolatoren verbunden, von denen dann die Freileitungen strahlenförmig ausgehen. Das System der kleinen oberirdischen Kabelverteilungen in den Straßen wird in Amerika außerordentlich bevorzugt, es ist im allgemeinen einfach und billig, allerdings wenig gefällig von Aussehen, hat sich jedoch bei den dortigen Verhältnissen gut bewährt, da es eine sehr bewegliche und anpassungsfähige Art der Verteilung der Anschlußleitungen zum Übergange von Kabeln — seien es Luft-, Röhren- oder Erdkabel — auf Freileitungen darstellt.

Hauptverteiler.

Die Veranlassung zur Einführung der Hauptverteiler in die Fernsprechnetze der R. T. V. mit rein unterirdischer Verteilung der Anschlußleitungen, sowie die Grundsätze für ihre Beschaltung sind im Abschnitt IV, S. 138, bereits dargestellt worden. Abb. 138 und 139 stellen einen Hauptverteiler gewöhnlicher Form dar, und zwar **Abb. 138** den geöffneten Kasten mit der Verteilungskabelseite, **Abb. 139** das Gestell mit den Lötmuffen und der Hauptkabelseite.

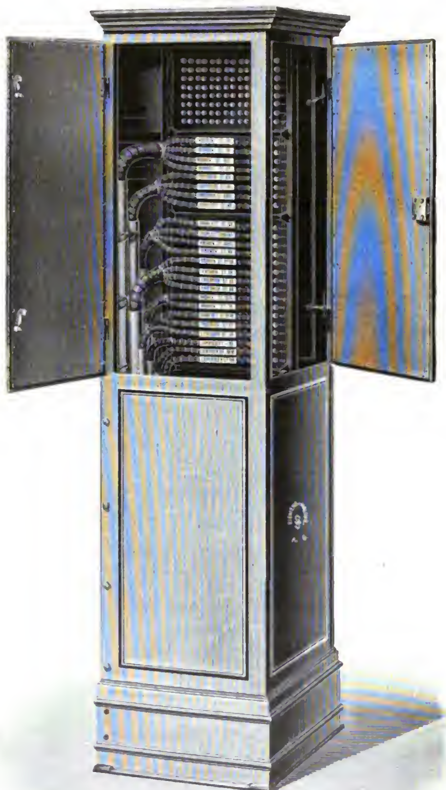
Der Hauptverteiler besteht im wesentlichen aus einem Schaltbrett aus Eisengummi oder Hartgummi mit 112 oder 150 Paar Klemmenstiften. Dieses Brett ist auf einem Eisengerüst in einem Schutzkasten aus Eisenblech von der äußeren Form der gewöhnlichen schrankförmigen Überführungskästen (Abb. 136) senkrecht derart angebracht, daß der obere Teil des Kastens in zwei Teile geteilt wird. Das Eisengerüst gestattet bei einer späteren Erweiterung der Kabelanlage die Anbringung von drei weiteren Schaltbrettern zu 50 oder 56 Paar Klemmenstiften. Auf der Vorderschiene des Schaltbrettrahmens sind die Klemmengruppen durch aufgemalte Zahlen bezeichnet. In

---

[1]) Zu vgl. die Ausführungen bei Besprechung der Gummikabel, S. 113, sowie S. 128. — [2]) Nach Kempster B. Miller, S. 834, Fig. 613.

gleicher Höhe mit den Schaltbrettern werden, rechtwinklig zu ihnen, weißgestrichene, siebartig durchlochte, numerierte Zählbretter aus Hartholz in spitzem Winkel an die Rückwand so angeschraubt, so daß hinter ihnen

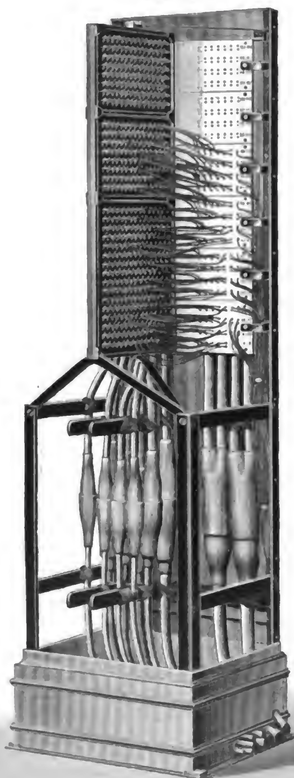
Abb. 138.



genügend Platz zur Unterbringung der zurückgezogenen Adernvorräte und der nicht beschalteten Adern verbleibt. Die Löcher haben eine lichte Weite von 3,5 mm, sie dürfen durch den Lackanstrich nicht verstopft oder verengt sein.

An der rechten Seite der Zählbretter sind kleine eiserne Klappriegel zur Führung der vorerst nicht benutzten Hauptkabeladern angebracht.

Abb. 139.



Die Vorderwand und die beiden Seitenwände des Kastens sind bei den gewöhnlichen Hauptverteilern für trockene Räume abnehmbar und ihre oberen Hälften als verschließbare Türen eingerichtet. Der Fuß und die Be-

krönung des Kastens bestehen wie die Wandungen aus Eisenblech. Der Verschluß der Vordertür erfolgt bei den Hauptverteilern in der Regel mittels sogenannten Basquilleverschlusses, der ohne den dazu gehörigen besonderen Schlüssel das unbefugte Öffnen verhindert; das Verschließen der Seitentüren wird durch die im Innern angebrachten Klappriegel ausgeführt. Der Basquilleverschluß — der z. B. in den Abb. 136 und 142 zu erkennen ist — hat sich gut bewährt, durch eine halbe Drehung mit einem Lochschlüssel werden gleichzeitig zwei Riegel und ein Vorreiber betätigt, die in passende Vertiefungen der Decke, des Bodens und des Rahmens eingreifen.

Abb. 140.



Der linke Teil des Hauptverteilers dient zur Hochführung der Verteilungskabel, im rechtsseitigen Teile geschieht die Schaltung der Hauptkabeladern.

Die Einführung der Kabel erfolgt in dem unteren Teile des Schutzkastens. Die Papierkabel werden in Bleimuffen mit den Gummiabschlußkabeln verspleißt und letztere alsdann zur Verbindung der Haupt- und Verteilungskabeladern an die durch die Ebonitplatte getrennten beiden Klemmen der Klemmenstifte für die einzelnen Adern angelegt. Die Adern der Verteilungskabel sollen von vornherein sämtlich, übersichtlich geordnet und je für die betreffenden Grundstücke und Einzelverteiler zusammenliegend, beschaltet werden, dagegen werden von den Hauptkabeladern nur diejenigen angeklemmt, welche zum Betriebe erforderlich sind; die übrigen Adern bleiben als Vorrat frei liegen.

Die wettersicheren Hauptverteiler zum Aufstellen auf Straßen und Höfen entsprechen in ihrer inneren Einrichtung und Ausrüstung dem Verteiler für trockene Räume, sie haben jedoch zum Schutze gegen Witterungseinflüsse einen doppelten Eisenblechmantel, auf den eine dachartige Bekrönung aus verbleitem Eisenblech aufgesetzt ist; die ganze Vorderwand und die beiden Seitenwände sind als Türen eingerichtet. **Abb. 140** zeigt einen solchen Straßenhauptverteiler. Bei ihm ist in ähnlicher Weise wie bei dem entsprechenden Überführungskasten (S. 299) durch mehrere, gegen Eindringen von Regen geschützte Lüftungsöffnungen ein Strömen der Luft ermöglicht; ferner ist durch Gummistoffpackungen an dem inneren Gestell dafür gesorgt, daß ein luftdichter Abschluß des Verteilerraumes entsteht. Der Boden der auf Straßen usw. aufgestellten Verteiler muß gut ab-

gedichtet werden, da sonst infolge der aus den Kanälen aufsteigenden warmen Luft feuchte Niederschläge entstehen können. Auch gegen das Eindringen von Ratten in die Gebäude ist eine derartige Maßnahme recht wirksam. Als Abdichtung kann man z. B. Holzbretter mit Mennigekitt und Teerstricken verwenden, die außerdem noch mit einer Schicht alter Isoliermasse zu bedecken sind. Auch eine Mischung von Sand und Asphalt wird gute Dienste leisten. Ein solcher Abschluß hat bei vorsichtiger Ausführung die besonders mit den Straßenverteilern verbundenen Mängel (Werfen der Lochbretter, Nebenschlüsse auf den Klemmenbrettern, Verrotten der Gummiadern) wesentlich vermindert. Nach Bedarf sind entsprechende Maßnahmen auch bei Verteilern in feuchten Kellerräumen zu treffen. Bei der Aufstellung von Straßenhauptverteilern wird noch dahin zu streben sein, die Spleißstellen nicht in den Verteilern selbst, sondern in den benachbarten Kabelbrunnen unterzubringen; der Aufstellungsort für die Verteiler ist unter Umständen hiernach auszuwählen. Auf diese Weise lassen sich auch Hauptverteiler von kleineren Abmessungen verwenden.

Bei der Beschaltung der Hauptverteiler sind allgemein einige Punkte besonders zu berücksichtigen. Der wichtigste Teil ist zweifellos das Klemmenbrett. Für die Klemmen selbst zunächst gelten wiederum die auf S. 282 bei Besprechung der Kabelendverschlüsse erörterten Grundsätze. Lötstifte sind jedoch in den Hauptverteilern nicht zu empfehlen, da die Verhältnisse hier anders liegen als bei den in den Ämtern untergebrachten Endverschlüssen. Dort stehen jederzeit geübtes Personal und ausreichend Licht und Platz zur Verfügung, auch ist eine Feuersgefahr weniger zu befürchten. Für Hauptverteiler werden daher nur Klemmenverbindungen genommen. Während nun an der Verteilungskabelseite die Adern dauernd fest und gesichert liegen, muß an der Hauptkabelseite häufig ein Umlegen der Adern stattfinden, sei es bei Verlegung und Neueinrichtung von Anschlüssen, oder sei es bei einer allgemeinen Umrangierung der Adern, wenn infolge zahlreicher Umschaltungen die Übersichtlichkeit nicht mehr genügend gewahrt ist.

Gut bewährt hat sich die in **Abb. 141** dargestellte Verbindungsart. Auf der Hauptkabelseite [in der Abbildung allerdings links[1]) zu betrachten] wird

Abb. 141.



an die Klemme des durch die Isolierplatte führenden Klemmenstiftes ein verzinnter Messingwinkel angeklemmt. Dieser Winkel besitzt auf der wagerechten Fläche eine aufgelötete Klemmrinne[2]) und am freien Ende eine Öse. Die blanke Leitung der Hauptkabelader wird durch die Öse in die Rinne gesteckt und dort mit einer Zwickzange festgedrückt. Über die Ader wird dann in die Öse hinein eine besondere, vorher aufgesetzte kleine Ebonitkapsel, das sogenannte Aderendverschlüßchen, geschoben, so daß die Enden der Gummiisolierung und der Bandbewickelung noch von der Ebonithülse bedeckt werden (an dem Modell ist diese Kapsel zur besseren Darstellung der Klemme

[1]) In der Praxis ist die Hauptkabelseite rechts (s. Abb. 139). — [2]) Klemmrinne und Winkel bilden bei einer anderen Konstruktion ein einziges festes Stück.

nicht durchgezogen). Diese Einrichtung hat wesentlich zur Erhaltung der Isolation der Kabeladern beigetragen.

Das Klemmenbrett selbst, für das bei der Lieferung eine Isolation von 5000 Megohm zwischen den einzelnen Klemmenstiften und von 100 Megohm noch nach drei Jahren verlangt wird, erfordert ebenfalls große Vorsicht bei der Anbringung und späteren Beschaltung. Recht guten Erfolg hat die vorherige Reinigung der Platten mit Benzin gebracht; sie sind danach durch gründliches Abreiben mit einem reinen Lederlappen — nicht mit Wolltüchern usw., da diese leicht fasern — zu trocknen und schließlich, ebenso wie die Füße der Klemmen, mit Elektralack [1]) zu bestreichen. Es muß aber darauf gehalten werden, daß das Personal den Lack später bei den Schaltarbeiten nicht wieder abstößt, da sonst eine Staubansammlung begünstigt werden würde. Eine gute Politur der Platten fördert außerdem noch wesentlich ihre Isolation (zu vgl. S. 62 und 285).

Infolge häufiger Umschaltungen kann es vorkommen, daß eine Hauptkabelader mehrfach neu angeschnitten werden muß und schließlich nicht mehr die erforderliche Länge behält. Die Verlängerung der Gummiadern ist eine noch nicht recht zu allgemeiner Zufriedenheit gelöste Frage. Am zweckmäßigsten scheint folgendes Verfahren zu sein: Die von der Isolierhülle sorgfältig befreiten, blank gemachten Enden der beiden Drähte werden fest miteinander verwürgt, mit Gummilösung bestrichen, dann bis über die Gummiadern mit drei Lagen Paragummiband — unter jedesmaliger Zwischenfügung einer gleichen Lösung — und schließlich noch mit einer Lage Isolierband bewickelt. Nach den bisherigen Erfahrungen haben sich auch die Überschiebung eines dünnen, an den Enden festgebundenen Gummischlauches über die verwürgten Aderenden und eine darüber gebrachte Umwickelung mit Isolierband gut bewährt. Noch besser ist jedoch eine Bewickelung der blanken Adern und der anschließenden Gummihüllen mit in leichtem Benzin getränktem, unvulkanisiertem Gummiband und darüber wieder mit Isolierband. Das unvulkanisierte Band verbindet sich alsdann allmählich mit der Gummiisolierung der Adern zu einem untrennbaren Ganzen. Solche Verbindungen sind jedoch wegen der Feuergefährlichkeit des Benzins mit besonderer Vorsicht auszuführen.

Um eine größere Übersichtlichkeit zu gewinnen, ist noch eine andere Art der Beschaltung der Hauptkabelseite mit gutem Erfolge versucht worden. Die Hauptkabeladern werden durch ein Lochbrett unterhalb der Klemmenbretter gezogen, dann durch Führungsringe an den beiden äußeren Kanten der Hauptkabelseite hochgeführt und von rechts und links zu den Klemmen herangebracht, so daß im Verteiler ein dreiseitiger Raum zum Anlegen und Umschalten der Adern freibleibt. **Abb. 142** [2]) zeigt einen derart beschalteten Hauptverteiler. Die Aufnahmefähigkeit eines solchen Verteilers ist infolge anderer Anbringung der Lochleiste etwas geringer, doch kommt dieses nicht wesentlich in Betracht, zumal die Verteiler ohnehin für viele Fälle unnötig groß und unrentabel sind.

Die Bestrebungen nach weiterer Vervollkommnung [3]) der Hauptverteiler werden sich in der Hauptsache auf zwei Gesichtspunkte zu erstrecken haben:

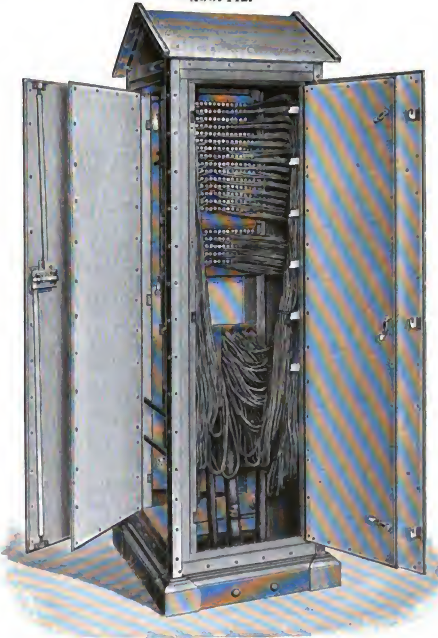
---

[1]) Zu vgl. Anm. 1, S. 285. — [2]) Hamburger Modell. — [3]) Neuerdings werden auch Versuche mit Ölisolation in den Hauptverteilern gemacht; s. S. 312.

auf Beschaffung eines billigeren, für mittlere und kleine Verhältnisse passenden Verteilers und ferner auf Fortfall der Gummikabel, die trotz aller Vorsichtsmaßregeln in Kellerräumen usw. häufig Ursache zu Betriebsschwierigkeiten und kostspieligen Auswechselungen geben und selbst zur Verlegung der ganzen Einrichtung zwingen können.

Eine häufig beobachtete Veranlassung zu Isolationsfehlern in den Anschlußleitungen bieten die Übergangslötstellen [1]) zwischen den Gummi- und

Abb. 142.



Papierkabeln. Werden diese Muffen nicht mit größter Vorsicht ausgegossen, so kann die allmählich aus dem Hauptverteiler an den Gespinstbändern der Gummikabel entlang nach unten durchsickernde Feuchtigkeit in das anschließende Papierkabel eindringen und dort zu umfangreichen Störungen Anlaß geben [2]).

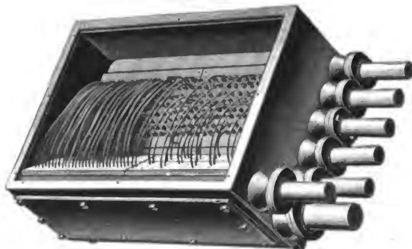
Die teuren Gummikabel sind überhaupt ein noch vielfach verwendeter Bestandteil der Kabelabschlußmaterialien, dessen Ersatz durch mindestens

[1]) Zu vgl. S. 261. — [2]) Zu vgl. S. 113.

gleichwertige Einrichtungen in jedem Fall nur erwünscht sein kann. Es könnte z. B. in Frage kommen, sowohl die Hauptkabel, als auch die Verteilungskabel in Verteilerschränken durch Röhrenendverschlüsse (Abb. 124) unmittelbar abzuschließen [1]) und die gegenseitige Beschaltung durch verdrillte Doppelleitungen von genügender Isolierfähigkeit auszuführen. Eine solche oder eine andere, denselben Zweck verfolgende Einrichtung hat manches Gute an sich, die Gummikabel fallen fort, die Verteilerkästen können je nach dem Bedürfnis verschiedene Abmessungen erhalten, und die Beschaltung der Adern erfolgt unmittelbar, ohne vorherige Aufteilung der Kabel, von Klemme zu Klemme. Es ist zu erwarten, daß derartige, einfach und billig zu haltende Konstruktionen gute Erfolge haben werden, wenn neben ausreichender Isolation die Übersichtlichkeit in der Führung und die bequeme Auswechselbarkeit der Verbindungsdrähte gewährleistet sind.

Es soll hier noch einer Hauptverteilerkonstruktion gedacht werden, die früher bei der R. T. V. mehrfach angewendet wurde und sich vereinzelt auch

Abb. 143.



jetzt noch in den Kabellinien befindet. Diese ist der sogenannte Brunnenhauptverteiler, der in **Abb. 143** dargestellt ist. Man benutzt solche Verteiler jedoch nur noch in Notfällen, da die Isolation der Adern in den Kabelbrunnen weniger gewährleistet und auch die Beschaltung im einzelnen erheblich umständlicher und teurer ist.

Kabelverteiler und Vielfachdosen.

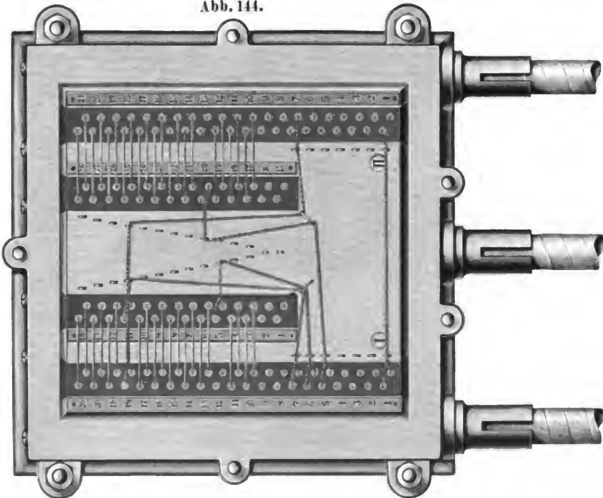
Für die im Abschnitt IV näher erläuterte unterirdische Verteilung der Anschlußleitungen nach dem Multiplexsystem sind anders konstruierte Verteilerapparate erforderlich. Während bei der als Radialsystem bezeichneten Verteilungsart der R.T.V. nur die eigentliche Kabelführung unterirdisch ist und die erforderlichen Schaltapparate oberirdisch aufgestellt werden, sind bei der auf S. 141 als Beispiel dargestellten Vielfachschaltung der bayerischen Telegraphenverwaltung auch diese Apparate unterirdisch in Kabelbrunnen usw. untergebracht. Weiter beruht ein wesentlicher Unterschied in der Anzahl der zwischen Amt und Sprechstelle eingeschalteten Zwischenapparate, wie

[1]) Zu vgl. den entsprechenden Vorschlag für Überführungskästen, S. 300.

bereits früher erwähnt worden ist. Für die bayerische Verteilungsart kommen als wesentlich von der Einrichtung der betreffenden Apparate der R. T. V. abweichende Konstruktionen[1]) in der Hauptsache die Kabelverteiler, Multiplexdosen und Dosenendverschlüsse in Betracht, über deren Einrichtung hier einiges gesagt werden soll.

Die Kabelverteiler werden in der Regel für ein 28 paariges Hauptkabel und zwei 21 paarige Multiplexkabel konstruiert, unter Umständen kommen auch noch solche für 56 oder 42 bzw. 4- oder 3 mal 21 Adernpaare zur Verwendung. Der Apparat stellt in der Hauptsache einen gußeisernen Endverschluß dar, welcher auf der Stirnseite Ebonitbretter mit Lötstiften zur

Abb. 144.



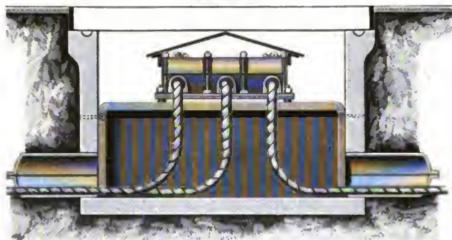
Ausführung der Schaltungen trägt. Der Endverschluß ist in drei nebeneinander liegende Teile geteilt, von denen der mittlere das Hauptkabel, die beiden seitlichen die abgehenden beiden Multiplexkabel aufnehmen. Die Kabel werden durch die an einer Seite angebrachten Ansätze in die einzelnen Abteilungen eingeführt, wie aus der **Abb. 144** eines Verteilers kleiner Form zu ersehen ist. An der entgegengesetzten Querseite des Kastens sind verschließbare Öffnungen zum Ausgießen der drei Endverschlußabteilungen vorhanden. Die Lötstifte

[1]) Näheres über die Konstruktion der bayerischen Kabelverteiler s. E. T. Z. 1906, Heft 51. Die Abbildungen 144 bis 146 sind mit den Beschreibungen der Apparate dem Druckwerke „Grundzüge für die Herstellung der vollständig unterirdischen Zuführung der Teilnehmerleitungen in den Ortsfernsprechanlagen Bayerns“, München 1904, entnommen.

werden für jede Doppelleitung mit einer Nummer versehen. Zur Aufnahme der isolierten Schaltdrähte ist noch eine Anzahl Führungsringe in die Unterlage eingeschraubt, damit bei Herstellung von Fernsprechanschlüssen je zwei beliebige Lötstifte bequem und übersichtlich verbunden werden können. Die Isolation zwischen zwei Lötstiften soll mindestens 10000 Megohm betragen. Der Kabelverteiler wird nach seiner Einschaltung durch einen gußeisernen, mit Handhaben versehenen Deckel mit Gummidichtung luft- und wasserdicht abgeschlossen. **Abb. 145** zeigt die Art des Einbaues eines Kabelverteilers in einem Kanalanschlußkasten.

In **Abb. 146** ist eine Multiplexdose mit zwei Dosenendverschlüssen dargestellt; der Apparat ist im Prinzip ähnlich wie der Kabelverteiler konstruiert. Die Vielfachdose besteht aus einem gußeisernen Kasten, der durch eine horizontale eiserne Wand in eine obere und eine untere Abteilung getrennt ist. Der untere Teil nimmt das Vielfachkabel auf, in dem oberen

Abb. 145.



werden die Dosenendverschlüsse für die Anschlußkabel untergebracht und außerdem die Schaltungen vorgenommen. Die untere Abteilung enthält an einer Seite zwei Flanschstutzen zur Ein- und Herausführung des Multiplexkabels. Ihre Verbindung mit der oberen Kammer erfolgt durch Lötstifte, welche durch die Scheidewand nach oben isoliert hindurchgeführt und mittels isolierender Lamellen voneinander getrennt sind. Das nach zwei Richtungen abgehende Vielfachkabel ist unten an diese Lötstifte fest angelegt, ferner sind die entsprechenden Stiftenden im oberen Teile durch Metallstege verbunden, so daß das Kabel also zunächst glatt durchgeschaltet ist. Die untere Abteilung wird wie beim Kabelverteiler ausgegossen. Die kürzeren Seiten der oberen Kammer sind mit je zwei Öffnungen versehen, die zur Herausführung der Hausanschlußkabel dienen und, soweit sie unbenutzt bleiben sollen, mit Blindflanschen verschlossen werden. Die Multiplexdose wird nach Abschluß durch einen gut gedichteten eisernen Deckel in einem Anschlußkasten wie der Kabelverteiler auf einer Konsole aus Eisenträgern untergebracht. Zum besseren Schutz wird sie noch mit einem Schmutzfänger aus Eisenblech überdeckt.

Der Dosenendverschluß soll die Hausanschlußkabel innerhalb der Multiplexkästen gegen Feuchtigkeit schützen und die Übersicht über die Verteilung der Anschlußleitungen erleichtern. Er besteht aus einem prisma-

tischen Messingbehälter, der an einer Querwand zur Einführung des Kabels einen Flanschstutzen trägt und auf der Oberseite durch eine mit Lötstiften und Führungsringen versehene Ebonitplatte bedeckt ist. Der Apparat wird

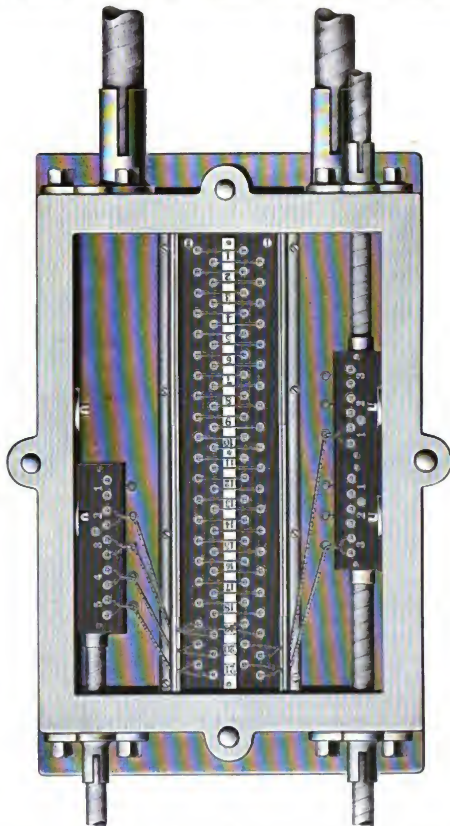


Abb. 146.

nach der Einschaltung ausgegossen. Der Einbau in die Multiplexdosen ist aus Abb. 146 zu ersehen. Die Verschlüsse werden für 3, 5 und 7 Doppelleitungen — unter Umständen auch als Doppeldosen — eingerichtet. Sollen auf einem Grundstücke, in das ein Anschlußkabel eingeführt ist, Fern-

sprechanschlüsse hergestellt werden, so sind die entsprechenden Verbindungen des Multiplexlötstiftbrettes zu lösen und die Stifte mit den zugehörigen des Dosenendverschlusses zu verbinden; außerdem sind noch im Kabelverteiler die erforderlichen Schaltungen vorzunehmen (zu vgl. S. 142).

Die Anschlußkabel endigen in den Kellern der Gebäude an kleinen trichterförmigen Kabelendverschlüssen einfacher Konstruktion. Von diesen werden die Zuleitungen für die einzelnen Apparate mittels isolierter Leitungen durch das Haus geführt.

Die Anordnung der Einzelteile der gesamten bayerischen Verteilerapparate ist recht günstig gewählt, indem stets die Stammkabel in der Mitte und die anzuschaltenden weiterführenden Kabel symmetrisch zu den Seiten der Abschlüsse der Hauptkabel liegen. Auf diese Weise sind eine nur kurze Länge der Schaltverbindungen und eine gute Übersichtlichkeit bei verhältnismäßig geringen Abmessungen der ganzen Apparate gegeben. Jedoch sind die Isolationsbedingungen bei dieser Art des Verteilungssystems und der vorhandenen Konstruktion der Lamellen in den Lötstiftträgern nicht so günstig wie bei den Schaltapparaten der Radialverteilung nach dem System der Haupt- und Einzelverteiler. Der Übergangsweg von Lamelle zu Lamelle, bestehend aus Isolierplatten von Hartgummi oder Glimmer von 1,5 mm Stärke, kann leichter zu Nebenschließungen Veranlassung geben. Die Wahl des einen oder anderen Isoliermaterials als Zwischenlage ist übrigens weniger von Bedeutung, da für Schwachstrom die Oberflächenleitung mehr von der Trockenheit der Oberfläche, als vom Material selbst abhängig ist.

Für die auf S. 144 erwähnten Versuche mit der Multiplexschaltung im Gebiet der R. T. V. sind von der Firma Siemens u. Halske abgeänderte Schaltapparate konstruiert worden, wobei allerdings das Prinzip der unterirdischen Verlegung auch dieser Apparate maßgeblich blieb. Ausgehend von der Erfahrung, daß der größte Fehler der bisherigen Apparate in der auf den Klemmenplatten sich niederschlagenden Luftfeuchtigkeit zu suchen ist, wurde in erster Linie nur eine Neuanordnung der die Kontakte tragenden Platten gewählt. Die Luftfeuchtigkeit völlig abzuschließen, ist natürlich unmöglich, wohl aber kann man das im Apparat eingeschlossene Luftvolumen[1]) sehr einschränken, wenn damit auch nicht verhindert wird, daß sich bei Temperaturschwankungen alle festen Teile mit einer mehr oder weniger gut leitenden Feuchtigkeitsschicht überziehen. Es mußte daher ein Ausweg geschaffen werden, der die Luftfeuchtigkeit für die Klemmen und Lötstifte selbst unschädlich macht.

Der Grundgedanke der Konstruktion der neuen Klemmenplatten ist der, daß eine Ölschicht als isolierendes Mittel gewählt wurde und ausschließlich über Öl gearbeitet wird. Die Ölisolation hat sich bekanntlich in der Starkstromtechnik vielfach ausgezeichnet bewährt. Es lag daher der Gedanke nahe, auch in der Schwachstromtechnik bei besonders hohen Isolationsansprüchen von diesem Mittel Gebrauch zu machen, soweit die betreffenden Teile nicht einer außergewöhnlich starken Verschmutzung[2]) ausgesetzt sind.

---

[1]) Zu vgl. die Ausführungen auf S. 317. — [2]) Dieser Umstand hat bekanntlich die Ölisolation der Porzellandoppelglocken für Starkstromleitungen als ungeeignet erwiesen.

Dieses trifft jedoch bei den fest abgeschlossenen Verteilerapparaten nicht zu. Während nun z. B. bei Starkstromölschaltern vor allem die Durchschlagsfestigkeit des Öles in Betracht kommt, kann in der Schwachstromtechnik das Öl nur dazu dienen, die Bildung einer zusammenhängenden Feuchtigkeitsschicht von Klemme zu Klemme wirksam zu verhindern, wobei die Kontakte selbst für Schaltverbindungen zugängig bleiben müssen. Auch dürfen die Schaltdrähte und die mit ihnen arbeitenden Personen mit dem Öl nicht in Berührung kommen, da sonst ein sauberes Arbeiten unmöglich ist. Um diesen Bedingungen zu entsprechen, wird in den neuen Apparaten über den Klemmen- oder Lötstiftplatten, die im Prinzip sonst wie bei den bayerischen Apparaten angeordnet sind, eine dünne Ölschicht aufgebracht, die den Fuß der Klemmen usw. bedeckt. Die Klemmenplatte selbst bildet den Boden eines

Abb. 147.



Metalltroges, das Öl ist infolgedessen nur an denjenigen Stellen vorhanden, an denen es wirklich erforderlich wird; gleichzeitig soll durch den Metallrand ein Überkriechen des Öles verhindert werden. Die Klemmenstifte selbst sind so lang gewählt, daß sie genügend weit aus der Ölschicht herausragen, um ein bequemes Arbeiten zu ermöglichen. Die Vorrichtung bildet ein festes, für Öl undurchlässiges Ganzes Durch das aufgebrachte Öl soll die Oberfläche der Platten dauernd in absolut isolierendem Zustande erhalten werden; die geringe, sich unter Umständen niederschlagende Feuchtigkeit kann wegen ihrer größeren Schwere nicht oben auf der Ölschicht bleiben, sie sinkt vielmehr durch das Öl hindurch und sammelt sich in einer zu diesem Zweck vorgesehenen umlaufenden, genügend tiefen Rinne. Während sich bei der sonst allgemein üblichen Konstruktion von Klemmenplatten die Oberfläche allmählich unter der Einwirkung der Luft verändert und dadurch die Oberflächenleitung begünstigt wird, kann man bei diesen „Ölplatten“ die Oberfläche bei Bedarf leicht durch Entfernung des alten und Aufbringung neuen Öles erneuern, so daß Betriebsschwierigkeiten hintangehalten werden. Im übrigen haben Versuche auch gezeigt, daß weder Sonnenwärme noch Winterkälte die Güte der Ölisolation beeinträchtigen.

Verteilerapparate mit Ölisolation können sowohl beim Radialsystem, als auch beim Multiplexsystem — namentlich an den der Feuchtigkeit besonders ausgesetzten Orten — Verwendung finden. Wie bereits erwähnt, sind die Versuche zunächst[1]) an dem letzteren System praktisch vorgenommen worden; **Abb. 147** stellt beispielsweise einen neuen Kabelverteiler mit Ölisolierplatten für ein 28 pariges Hauptkabel und für die anschließenden beiden 21 paarigen Multiplexkabel — entsprechend der bayerischen Verteilungsart — dar. Die freien Öffnungen sind unter Umständen für Verbindungskabel oder auch nach Bedarf für direkt anzuschließende Dosenendverschlüsse ähnlicher Konstruktion vorgesehen. Die Beschaltung des Verteilers ergibt sich aus der Abbildung und nach den bereits gegebenen allgemeinen Erläuterungen. Es ist anzunehmen, daß durch derartig konstruierte Apparate mit Ölisolation manche Schwierigkeiten in der Kabelverteilung beseitigt werden können.

Abb. 148.

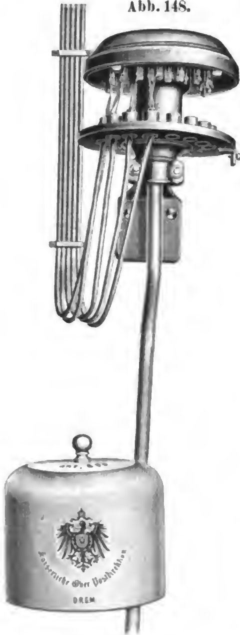
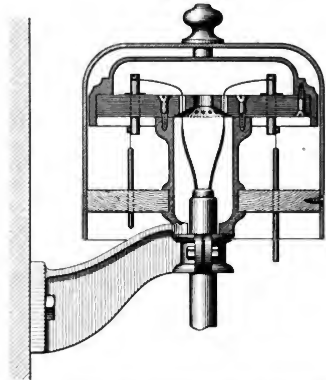


Abb. 149.



Einzelverteiler.

Die Einzelverteiler bilden bei der R. T. V. den Abschluß der von den Hauptverteilern kommenden und in den Abzweigkästen aufgeteilten Verteilungskabel für die einzelnen Grundstücke und werden daselbst an geeigneten, bequem zugängigen und möglichst unauffälligen Stellen angebracht. Ihre Konstruktion beruht schon hinsichtlich der Beschaltung auf einem ganz

[1]) Zu vgl. Anm. 1 auf S. 144, sowie Abb. 151.

anderen Grundsatz als diejenige der Hauptverteiler, da sie im Grunde weiter nichts als einen wettersicheren Abschluß der Kabel und eine Verbindungseinrichtung für die zu den einzelnen Sprechstellen weiterführenden Anschlußleitungen darstellen.

Die für gewöhnlich übliche Form ist aus den **Abb. 148** und **149** zu ersehen. Dieser Einzelverteiler besteht aus einem zylinderförmigen, gußeisernen Endverschluß für das ankommende Verteilungskabel und hat einen angegossenen seitlichen Fuß. Auf dem Endverschluß ist eine Hartgummischeibe mit 5, 7, 10 oder 14 Paar Doppelklemmen befestigt, die mit Durchbohrungen zur Durchführung der einzelnen Kabeladern aus dem Endverschluß versehen ist. Auf diese Hartgummischeibe wird ein gewölbter, gußeiserner Deckel luftdicht aufgeschraubt, nachdem die Scheibe und die Klemmenstifte gut mit Paraffin bestrichen sind. An seinem unteren Ende trägt der Endverschluß eine zweite, etwas größere Hartgummischeibe mit Öffnungen für den Austritt der Sprechstellenzuleitungskabel. Diese Scheibe wird mittels konischer, aus Stahl angefertigter Vorstecker am Endverschluß festgehalten und gleichzeitig am Drehen verhindert; die Löcher für die Vorstecker dürfen nicht bis in den Endverschluß hineinreichen, da sonst beim Ausgießen die Füllmasse durchsickern und dadurch dann die Isolation gefährdet werden kann. Der ganze Apparat wird mit einer Schutzglocke aus Eisenblech bedeckt, die an die untere Scheibe möglichst dicht anschließen soll und dort mit Bajonettverschluß oder Schraube befestigt wird. Bei größerem Bedarf an Leitungen für ein Grundstück werden mehrere Einzelverteiler angebracht. Ihre Beschaltung ergibt sich ohne weiteres aus den Abbildungen; die Kammer des Endverschlusses wird mit Isoliermasse ausgegossen, nachdem das Kabel am Einführungsstutzen gut abgedichtet ist. In die Durchbohrungen der unteren Scheibe sind imprägnierte Holzfutterringe eingelassen, die unter Umständen als Verstärkung für eine möglichst luftdichte Herausführung der Sprechstellenzuleitungen dienen sollen. Die unbesetzten Öffnungen werden durch Holzpfropfen sorgfältig verschlossen. Die Anschlußdoppelleitungen brauchen nicht einzeln herausgeführt zu werden, es ist vielmehr aus wirtschaftlichen Gründen sogar zweckmäßig, zwei- oder auch vierpaarige Bleirohrkabel aus dem Einzelverteiler herauszuführen und diese dann mittels kleiner Bleimuffen [1]) wieder aufzuteilen.

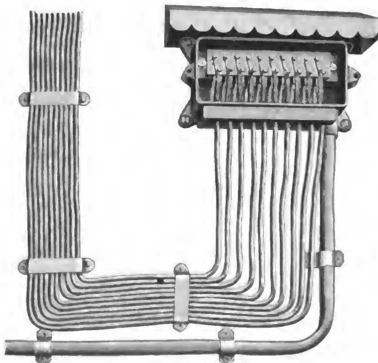
Ein Bedenken besteht allerdings im allgemeinen noch gegen die Verwendung dieser Glockeneinzelverteiler: das ist die Möglichkeit der Austrocknung der Spitzen der durch die untere Scheibe eingeführten Kabel. Die für die Zuführungen zu den Sprechstellen bei der R. T. V. gebräuchlichen getränkten 1-, 2- und 4paarigen Faserstoffkabel [2]) verlieren an ihren, an den Stiftklemmen bloßgelegten Enden allmählich an Isolation, da unter dem Einfluß der Wärme und der Luft die Isoliermasse im Kabel sackt und dadurch die zurückbleibende Gespinstisoliermasse so hygroskopisch wird, daß bei lange anhaltender feuchter Witterung in vereinzelten Fällen Nebenschließungen beobachtet wurden. Gegen solche Vorkommnisse, die in der Hauptsache auf den zwischen der äußeren Glocke und der unteren Isolierscheibe stets vorhandenen Luftwechsel und auch durch vielleicht nicht genügend abgedichtete

[1]) Zu vgl. Abb. 106. — [2]) Zu vgl. S. 124.

Führung der Anschlußleitungen durch die unteren Öffnungen zurückzuführen sind, hat es sich als gute Abhilfe erwiesen, in die Durchbohrungen der Scheibe kleine Porzellantrichter einzusetzen und diese mit Paraffin auszugießen. Oft genügt schon ein Umwickeln mit Paragummiband; das sonst vielfach gebräuchliche Isolierband (S. 235) ist hier wegen Verwitterungsgefahr nicht zweckmäßig — zu einer grundsätzlichen Einführung solcher Maßnahmen liegt jedoch nach den bisherigen Erfahrungen kein Anlaß vor.

Diese Konstruktion der Einzelverteiler hat sich im allgemeinen gut bewährt, bei ordnungsmäßiger Einrichtung ist eine dauernd ausreichende Isolation der Leitungen gewährleistet. Die Beschaltung selbst ist einfach und zweckmäßig. Für besonders durch Nebel belästigte Gegenden, z. B. an der Küste, wird bei Bedarf zur erhöhten Sicherung der Isolation eine etwas abgeänderte, wettersichere Form mit doppelter äußerer Schutzglocke und mit kleinen Hartgummiendverschlüßchen für die einzelnen Doppeladern angewendet.

Abb. 150.



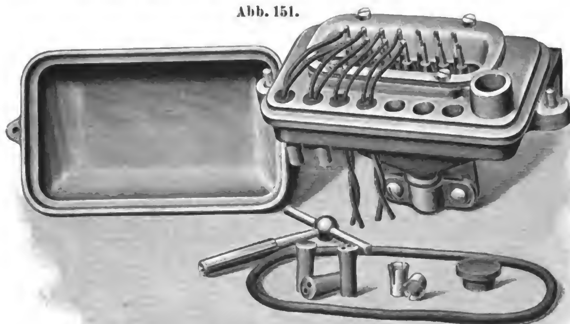
Neuerdings ist durch die Deutschen Telephonwerke in Berlin eine neue Form der Einzelverteiler eingeführt worden, deren Einrichtung aus **Abb. 150** zu ersehen ist. Dieser Apparat besteht aus einem mit grauer Ölfarbe gestrichenen, gußeisernen Kasten mit aufgeschraubtem, durch Gummiliderung abgedichtetem flachen Deckel. In dem Kasten sind auf einer Ebonitplatte die Klemmen für die *a*- und *b*-Adern der Anschlußleitungen in zwei Reihen aufgeschraubt, die Klemmen stehen mit den unterhalb dieses Verteilerstreifens hervorragenden Lötstiften für das Verteilungskabel in Verbindung. Dieses Papierkabel wird an seinem Ende gut imprägniert und in den Kasten eingeführt, dann wird der Bleimantel mit der Einführungstülle außerhalb gut verlötet und im Innern des Verteilers von der Kabelseele entfernt. Die Kabeladern selbst werden in einer unten im Kasten vorhandenen Rinne zopfartig abgebunden und an die Lötstifte angelötet. Schließlich wird diese Endverschlußrinne mit etwa 100° heißer Isoliermasse ausgegossen. Durch die 10 mm weiten Bohrungen einer zweiten vorderen Rinne werden die Zuführungskabel eingeführt. Diese Rinne muß bei der Lieferung des Apparates vollständig mit Mastix [1]) oder Wachs angefüllt sein, so daß für jede Zuleitung zunächst von außen ein Loch durch diese

[1]) Mastix ist ein teilweise in Alkohol lösliches, bei etwa 110° C schmelzendes Baumharz.

Masse zu stechen ist; die einzelnen Adern werden dann an den Klemmen oben auf der Ebonitverteilerplatte festgelegt. Unterhalb des Eisendeckels dieses Einzelverteilers befindet sich noch eine abnehmbare Asbestplatte, welche die im Verteiler etwa vorhandene Feuchtigkeit aufsaugen soll; die Platte soll bei jedesmaligem Öffnen des Verteilers gehörig über Holzkohlenfeuer getrocknet werden. Die im Freien anzubringenden Einzelverteiler werden noch durch ein Schutzdach aus Zinkblech (s. Abb.) gegen Witterungseinflüsse geschützt.

Die besonderen Vorzüge dieses neuen Einzelverteilers bestehen in der Hauptsache in einem gesicherten, luftdichten Abschluß auch der Zuführungskabel, in dem gefälligeren Aussehen und dem ziemlich beträchtlichen Minderaufwand für ihre Beschaffung. Ferner ist wohl zu berücksichtigen der gegenüber der älteren Form der glockenförmigen Einzelverteiler geringere Luftraum innerhalb des äußeren Abschlusses.

Abb. 151.



Dieser Punkt ist überhaupt für sämtliche im Freien oder in Räumen mit stark wechselnder Temperatur anzubringenden Abschlußeinrichtungen von großer Bedeutung. Die Masse eines cbm gesättigten Wasserdampfes verhält sich bei 20°, 10° C und 0° wie 17,2 zu 9,4 zu 4,8 [1]). Hieraus folgt, daß sich in einem Verteiler, der z. B. im Sommer eingeschaltet oder geöffnet worden ist, im Winter beim Sinken der äußeren Temperatur 70 v. H. und noch mehr der in der Luft vorher enthaltenen Feuchtigkeit niederschlagen und dann unter Umständen zwischen den Klemmen Strombrücken bilden kann. Je kleiner daher der Luftraum ist, desto weniger Feuchtigkeit kann sich ausscheiden.

Der Nachteil dieses Einzelverteilers besteht in der unbequemeren und mehr Zeit, Material und Kosten erfordernden Beschaltung. Auch das Freiliegen des eigentlichen Endverschlusses des Verteilungskabels in dem Apparat, gegenüber dem vollständig luftdicht und ständig abgeschlossenen Endverschluß der älteren Form, ist nicht ohne Bedenken, da beim Ein- oder Umschalten von

[1]) Nach Tabelle 13 in „Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik", 10. Aufl.

Anschlußleitungen eine Gefährdung der Isolation der Kabeladern durch Verletzung der Isolierschicht nicht ausgeschlossen ist; diesem Umstande kann jedoch durch Anbringung einer dünnen Isolierplatte oberhalb der Kabelrinne und Lötstifte begegnet werden. Die Verwendung von Lötstiften an Stelle von Klemmenverbindungen für die Verteilungskabeladern ist durchaus zweckmäßig, da diese Adern fest liegen bleiben. Der neue Einzelverteiler hat sich nach den bisherigen Erfahrungen ebenfalls, besonders in nebligen Gegenden, gut bewährt, so daß er voraussichtlich in größerem Umfange Benutzung finden wird.

In **Abb. 151** ist noch ein auf dem Prinzip der Ölisolation, entsprechend den neuen Kabelverteilern, zunächst als Modell konstruierter Einzelverteiler von Siemens u. Halske mit seinen Teilen dargestellt; die praktische Verwendung solcher Apparate wird zunächst von dem Ergebnis der Versuche mit den auf gleichem Prinzip beruhenden Kabelverteilern (Abb. 147) und Vielfachdosen abhängen.

Die Einschaltung von Einzelverteilern ist nicht nur auf Fernsprechnetze mit rein unterirdischer Verteilung beschränkt. Auch bei gemischter Verteilung kann bei besonderen örtlichen Verhältnissen von Hauptverteilern aus zunächst die Verlegung geringpaariger Kabel zu solchen Abschlußapparaten und erst von diesen die Weiterführung zu den oberirdischen Zuführungsleitungen in Betracht kommen. In größerem Umfange finden Einzelverteiler noch Anwendung innerhalb der Grundstücke von Fernsprechteilnehmern mit einer größeren Anzahl von Nebenstellenleitungen. Diese Leitungen werden zunächst von der Zentrale aus in stärkeren Kabeln gemeinsam durch die Flure usw. im Gebäude verlegt und nach Aufteilung der Kabel in Muffen mit dünneren Kabeln zu den Einzelverteilern gebracht. Von hier aus werden die Zuleitungen zu den einzelnen Fernsprechapparaten mittels Zimmerleitungsdrahtes usw. geführt. Diese Art der Kabelaufteilung hat in großen Geschäftsgebäuden, Warenhäusern, Dienstgebäuden von Behörden usw. gute Erfolge mit sich gebracht und über viele Schwierigkeiten hinweggeholfen.

Neunter Abschnitt.

Drucklufteinrichtungen.

Allgemeines.

Die Behandlung von Kabeln mit Druckluft ist zuerst in Frankreich, um das Jahr 1894, eingeführt worden, um in den dort damals gebräuchlichen, sehr empfindlichen Fernsprechkabeln mit Bleimantel und Paraffinstopfen (Pattersonkabel[1])) feucht gewordene Stellen lediglich durch Einblasen trockener Luft wieder aufzubessern; das Verfahren wurde auch mit Vorteil zum Austrocknen von beschädigten Telegraphenkabeln des Pariser Netzes angewendet. Mit der fortschreitenden Entwickelung der Kabeltechnik und der allgemeinen Verwendung von Papierhohlraumkabeln machte sich dann immer mehr auch bei anderen Verwaltungen das Bedürfnis geltend, diese Kabel bei vorkommenden Fehlern in einfacher Weise schnell wieder betriebsfähig machen zu können.

Eine solche Notwendigkeit war bei der R. T. V. nicht in demselben Maße bereits früher entstanden, weil in ihrem Bereiche in den ersten Jahren der Entwickelung der Fernsprechnetze auch zu Fernsprechzwecken Faserstoffkabel[2]) verwendet wurden. Da diese Kabel zur Vermeidung von Isolationsmängeln sowohl längs der ganzen Adern, als auch namentlich an den Enden der einzelnen Kabelstücke gründlich imprägniert waren, so bestand im allgemeinen weniger Gefahr.

Anders verhält es sich mit den papierisolierten Luftraumkabeln.

Der Schutz dieser Kabel gegen Isolationsfehler wird — abgesehen von sorgfältiger Verlegung — ganz besonders darin gesucht, die Spleißstellen möglichst trocken zu halten oder noch nachträglich zu trocknen und diese Verbindungsstellen außerdem durch geeignete Muffen luftdicht abzuschließen. Zur weiteren Sicherung der Isolation wurde es ferner, namentlich in Deutschland, zunächst für erforderlich gehalten, sämtliche Spleißstellen, ebenso wie die Endverschlüsse, noch mit einer besonderen Vergußmasse anzufüllen. Seit längerer Zeit ist man jedoch auch bei der R. T. V. hiervon abgekommen und bedeckt die Verbindungsstellen nach ihrer gründlichen Trocknung nur noch mit Walzbleimuffen, wie auf S. 253 näher dargestellt worden ist. Auf diese Weise wird innerhalb der Bleischutzhülle, vom Amt bis zum Endabschluß des Kabels über die einzelnen Spleißstellen hinweg, ein durchgehender Luftraum gebildet.

---

[1]) Zu vgl. S. 91. — [2]) Zu vgl. S. 93.

Die Notwendigkeit einer besonderen Behandlung der Kabel mit Druckluft machte sich dann aber mit der Zunahme der Kabellinien, und dadurch auch der Lötverbindungen, immer fühlbarer geltend. Mit dem wachsenden Umfange und der oft beschleunigten Ausführung der Lötarbeiten, sowie der damit immerhin mehr als früher gegebenen Möglichkeit der Unachtsamkeit des Löterpersonals traten auch mehr Fehler in den Spleißstellen auf, zumal diese mit der zunehmenden Adernzahl während ihrer Anfertigung längere Zeit den Einwirkungen der Luft ausgesetzt werden müssen. Beim Einziehen der unbewehrten Kabel in die Rohrstränge sind trotz aller Vorsicht Verletzungen der blanken Bleimäntel zuweilen nicht zu vermeiden [1]), schließlich bleiben auch bei gelegentlichen Arbeiten in den Kabelbrunnen die fertigen Lötstellen und ungeschützten Bleimäntel nicht immer ausreichend vor Beschädigungen gesichert. Die durch solche Schäden entstehenden Isolationsfehler der Kabel können nicht nur den Betrieb auf längere Zeit lahm legen, sie erfordern zu ihrer Beseitigung auch oft erhebliche Mittel, namentlich wenn es sich um hochpaarige Kabel handelt. Nun bietet die trockene Druckluft ein gutes Mittel, Fehler in den Bleihüllen und Lötstellen ohne Störung des Betriebes nicht nur mit ziemlicher Sicherheit einzugrenzen und aufzufinden, sondern auch bereits entstandene Isolationsmängel und selbst Durchtränkungen der Papierkabel zu beseitigen. Dauernden Erfolg hat das Trocknungsverfahren allerdings im einzelnen nur dann, wenn man in der Lage ist, die fehlerhafte Stelle gegen erneutes Eindringen von Feuchtigkeit zu schützen. In Röhrenkabeln können eine Trocknung und nachfolgende Instandsetzung nur bei Fehlern in den Brunnen selbst, dagegen bei Erdkabeln nach Aufgrabung auf der ganzen Strecke erfolgen, ohne daß die Kabelstücke ausgewechselt zu werden brauchen. Fehler in den Kanalrohren können nur durch Herausziehen und Auswechseln des schadhaften Stückes endgültig behoben werden.

Das Druckluftverfahren ist also nicht nur auf Röhrenkabel beschränkt, sondern auch bei Erdkabeln anwendbar. Auf S. 261 ist bereits ausgeführt worden, daß bei der R. T. V. neuerdings in solchen Kabeln, ebenso wie in Röhrenkabeln, unvergossene Spleißstellen hergestellt werden, wenn die Kabel für die Druckluftbehandlung vorgesehen sind. Es ist dann nicht, wie sonst bei Erdkabeln, nur zwischen zwei ausgegossenen Lötmuffen, sondern durch das ganze Kabel hindurch ein zusammenhängender Luftraum und damit die Möglichkeit einer Druckluftprüfung geschaffen.

Allgemein wird, wie auf S. 253 schon erwähnt worden ist, bei den für die Luftprüfung in Aussicht genommenen Kabeln der R. T. V. vom Imprägnieren der Kabelenden, vom Ausgießen der Bleimuffen und vom Abdämpfen der Lötstellen mit Isoliermasse Abstand genommen. Das Austrocknen der bei der Verspleißung aus der Luft und von den Händen des Löters in die Lötstelle gelangten Feuchtigkeit wird lediglich durch Holzkohlenfeuer bewirkt. Ferner werden diese Kabel [2]) auf jeweilige besondere Bestellung bei der Fabrikation nur noch soweit imprägniert, als es für die Abnahmemessungen notwendig ist. Die Tiefe der Imprägnierung ist auf 0,5 m — statt wie sonst üblich 1,5 m — festgesetzt, da diese Länge bei Herstellung der Lötstellen ohnehin abfällt.

---

[1]) Zu vgl. S. 323. — [2]) Die betr. Bedingungen der R. T. V. für die Lieferung von Fernsprechpapierkabeln (S. 103) sind entsprechend ergänzt worden.

Das Anwendungsgebiet der Druckluft für Papierluftraumkabel ist bereits ein recht umfangreiches geworden. Es erstreckt sich hauptsächlich auf folgende Verfahren:

1. Feststellung von Bleimantel- und Lötmuffenfehlern.
2. Regelmäßige Prüfung der Hohlraumkabel.
3. Prüfung bereits früher verwendeter oder neu gelieferter Kabel vor und nach der Verlegung.
4. Prüfung von Übungslötstellen und Abschlüssen.
5. Beseitigung von Isolationsfehlern, unter Umständen mittels erwärmter Druckluft, also Trocknung von Kabeln.
6. Trockenhaltung der Kabelspleißstellen während ihrer Anfertigung.

Das Druckluftverfahren dient mithin sowohl zur Beseitigung von Fehlern, als auch schon von vornherein zur Vermeidung und zur möglichst rechtzeitigen Feststellung von Schäden. Gerade in diesem zweiten Punkt liegt der außerordentliche Wert der Einrichtung. Die etwa entstandenen oder im Entstehen begriffenen Fehler sollen bereits vor ihrem im Betriebe bemerkbaren Auftreten ermittelt und beseitigt werden. Der regelmäßigen Prüfung der Kabel mit Meßinstrument tritt also die Behandlung mit Druckluft ergänzend zur Seite. Aus dem Sinken des Isolationswertes einzelner Adern kann man in der Regel schon auf das Eindringen von Feuchtigkeit schließen und wird alsdann mit der Aufsuchung der Fehlerstelle und unter Umständen mit ihrer Austrocknung beginnen können. Die Druckluftbehandlung bietet zweifellos neben den elektrischen Prüfungen eine wesentliche Hilfe zur Feststellung und Beseitigung auch geringfügiger Isolationsmängel. Bei neu verlegten Kabeln können selbst elektrische Messungen durchaus einwandfreie Ergebnisse liefern, obwohl die Kabel bereits kleine äußere Beschädigungen besitzen, die aber wegen der Kürze der Zeit noch nicht zu eigentlichen Isolationsfehlern geführt haben (zu vgl. S. 323).

Die allgemeine Einführung der Druckluftprüfung für Hohlraumkabel wird von noch zwingenderer Notwendigkeit werden, wenn erst auch auf größere Entfernungen derartige Kabel für Telegraphen- und Fernsprechzwecke verlegt worden sind. Denn die Störungen in den Fernleitungskabeln wirken für den Verkehr viel empfindlicher als solche in den gewöhnlichen Fernsprechanschlußkabeln und können zugleich erhebliche Gebührenausfälle nach sich ziehen.

Im einzelnen sollen jetzt zunächst — der nachfolgenden näheren Darstellung der Einrichtung und der praktischen Verwendung der Druckluftanlagen vorgreifend und diese ergänzend — zu den angeführten Verwendungsmöglichkeiten einige allgemeine Gesichtspunkte erörtert werden:

1. Sobald in der Bleihülle eines Luftraumpapierkabels irgendwelche, noch so kleine Fehler vorhanden sind, wird an diesen Stellen nach und nach Feuchtigkeit in das Kabel eindringen und seine Isolation herabdrücken. Neben diesen, sozusagen schleichenden Fehlern kommen noch erheblich gefährlicher in ihren plötzlich oder doch sehr schnell eintretenden Wirkungen die gröberen Verletzungen der Bleihüllen und Lötmuffen in Betracht. Wenn man in solchen Fällen vom Anfang des Kabels aus oder in der Nähe der vermuteten Fehlerstelle Druckluft in das Kabel einläßt, so wird — voraus-

gesetzt, daß die Druckluftzuführung selbst keine Mängel hat — nur an den Fehlerstellen Luft aus dem Kabel ausblasen. Am Sinken des Zeigers eines an der Einlaßstelle eingeschalteten Manometers lassen sich das tatsächliche Vorhandensein und nach einiger Übung auch die ungefähre Größe des Fehlers erkennen. Die örtliche Lage [1]) der Beschädigung muß dann weiter durch Begehung der Strecke festgestellt werden. Nach Beseitigung des Fehlers empfiehlt sich eine nochmalige Druckluftprüfung des Kabels, um Sicherheit darüber zu gewinnen, daß die schadhafte Stelle auch vollständig wieder gedichtet worden ist, und daß nicht etwa noch andere Fehler vorhanden sind.

2. Zur Ermöglichung der Durchführung regelmäßiger Prüfungen müssen an den Anfangspunkten, unter Umständen auch an den Endpunkten der Kabel geeignete Vorrichtungen zum Einlassen der Druckluft und zur Prüfung des Druckzustandes getroffen werden. Die hierfür erforderlichen Mittel sind im einzelnen im Verhältnis zu den für die Kabel selbst und ihre Verlegung aufzuwendenden Kosten nur unwesentlich.

Ein besonderes Verfahren zur Prüfung der Kabel während des Betriebes besteht darin, die Kabel vom Amte aus ständig unter Druck zu halten; eingeschaltete Manometer zeigen etwaige Fehler an. Diese Methode ist namentlich in England eingeführt worden. Doch erscheint — ganz abgesehen von den laufenden hohen Kosten — der Erfolg solcher Maßnahmen zweifelhaft. Es ist kaum möglich, die Abschlüsse der Kabel dauernd fest abgedichtet zu halten, die Druckluft wird nach und nach einen Ausweg finden und somit nicht nur die Abschlüsse gefährden, sondern auch das Urteil über den tatsächlichen Zustand des Kabels wesentlich beeinträchtigen können.

3. Die Prüfung der bereits früher verwendeten und vorläufig wieder auf Lager gebrachten Kabel hat sich allmählich immer mehr als Notwendigkeit erwiesen. Früher wurde vor ihrer Wiederverwendung nur in gewöhnlicher Weise eine elektrische Prüfung vorgenommen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß diese nicht immer genügt, daß Kabel, namentlich Erdkabel, die z. B. sehr hohe Isolationswerte zeigten, sehr bald nach ihrer Verlegung zu Betriebsstörungen Anlaß boten. Diese waren durch Bleimantelfehler entstanden, die zwar schon vor der neuen Verlegung vorhanden, jedoch bei der elektrischen Prüfung im Lager nicht zu bemerken gewesen waren.

Die Zweckmäßigkeit der Druckluftprüfung der neu zu verlegenden Kabel vor ihrer Verlegung, also noch auf der Trommel — und zwar unter Umständen sogar schon in der Fabrik bei der Abnahme — wird zugegeben werden müssen. Sie ist im Auslande [2]) zum Teil üblich und wird nicht nur zur Feststellung von Bleimantelfehlern, sondern auch zur Prüfung des guten

[1]) Es sei hierbei darauf hingewiesen, daß in Kabeln mit einem doppelten Bleimantel (S. 33) Druckluftprüfungen zur Feststellung von Bleimantelfehlern nur sehr selten einen Erfolg haben werden, da die Beschädigungen der inneren und der äußeren Bleirohre in der Regel nicht auf derselben Stelle liegen. Die Luft wird also außen meistens an einer anderen Stelle ausblasen, als wo die Feuchtigkeit durch das innere Rohr in das Kabel gelangt ist. Ähnlich liegt es übrigens auch bei den elektrischen Messungen zur Ermittelung der Fehlerlage, die Besichtigung des Kabels wird häufig an der gemessenen Fehlerstelle äußerlich ein unversehrtes Kabel zeigen. Schon aus diesem Grunde ist daher der doppelte Bleimantel unzweckmäßig. — [2]) Soweit ermittelt werden konnte, schreiben ausländische Telegraphenverwaltungen z. B. folgende Druckluftprüfungen für Fernsprechpapierkabel — zum

Durchganges der Luft durch die Kabel angewendet. Eine solche Prüfung auf Dichte der Bleimäntel ist sowohl für bewehrte, als auch für unbewehrte Kabel recht wünschenswert; für erstere gilt dieses besonders deshalb, weil ihre Bleimäntel beim Abtrommeln nicht noch wieder äußerlich besichtigt werden können. Durch solche Prüfungen ist jedenfalls die Möglichkeit gegeben, daß die bei der Fabrikation entstandenen Fehler noch vor dem Verlegen der Kabel ermittelt werden. Derartige Mängel treten erfahrungsgemäß nicht selten auf, sie lassen sich indes niemals ganz vermeiden. Da die feinen Bleimantelrisse häufig außen zunächst noch mit einer dünnen Schicht Blei bedeckt sind, so können sie in der Regel bei den üblichen Abnahmeprüfungen nicht festgestellt werden, selbst dann nicht. wenn die aufgetrommelten Kabel unter Wasser liegen. Diese schwachen Stellen brechen dann beim Verlegen oft ganz durch, zum Teil entstehen die Bleimantelbrüche an solchen Stellen aber auch erst später, selbst noch nach Ablauf der Gewährfrist der Kabel. Durch die Druckluftprüfungen können bei ausreichender Druckspannung — wodurch allerdings die Umspinnung der Adern nicht gefährdet werden darf — auch Stellen aus schlechtem und porösem Blei festgestellt werden.

Wie bereits oben erwähnt und hiervor nochmals ausgeführt worden ist, entstehen schon bei den praktischen Verlegungsarbeiten leicht Undichtigkeiten in den ungeschützten Bleimänteln und auch in den Lötmuffen. Es ist daher sehr zu empfehlen, die Kabel nach ihrer Verlegung sorgfältig mit Druckluft zu prüfen, und zwar auch dann, wenn eine solche Prüfung bereits an den aufgetrommelten Kabeln stattgefunden hat; hierdurch kann gleichzeitig die Dichte der Kabelabschlüsse festgestellt werden. Prüfungen auf Luftdurchlässigkeit oder Bleimantelfestigkeit sind bei der R. T. V. zurzeit noch nicht eingeführt worden.

4. Die Druckluftprüfung hat sich schließlich noch bei der Untersuchung der Übungslötstellen, welche die in der Ausbildung begriffenen Löter anfertigen, als sehr zweckmäßig erwiesen, zumal den Arbeitern dabei Gelegenheit zur Übung in der Anwendung des Druckluftverfahrens geboten wird. Eine solche Prüfung erfordert nur kurze Zeit, während die Lötstellen sonst nach den Vorschriften der R. T. V. zunächst zwei Tage unter Wasser gehalten und dann elektrisch geprüft werden. Ebenso wertvoll ist diese Prüfung für Kabelendverschlüsse; hierbei läßt sich zugleich feststellen, ob die gelieferten Vergußmassen ausreichend fest sind. Das Verfahren gestattet außerdem, zwischen verschiedenen Isoliermassen hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit

Teil bereits in der Fabrik, zum Teil erst auf der Verwendungsstrecke kurz vor der Verlegung — vor: Frankreich, Italien und England für sämtliche Kabel; Schweden, Norwegen und Dänemark stichprobenweise. Die Prüfung auf Durchlässigkeit der Kabel geschieht in der Weise, daß an dem einen Ende des Kabels die Druckluft angeschlossen wird, die Luft muß dann innerhalb eines vorgeschriebenen Zeitraumes durch eine bestimmte Länge — z. B. mit 2 Atm. Überdruck innerhalb 2 Minuten durch ein 100paariges Kabel von 200 m Länge — hindurchgetrieben werden können und am anderen Kabelende an einem besonders hergestellten kleinen Loch des Bleimantels wieder ausströmen. Ohne eine genaue Festsetzung der Bedingungen (Luftdruck, Zeit, Kabeltype und Kabellänge) würde eine solche Prüfung allerdings nur geringen Wert haben. Die Prüfung der Kabel auf Bleimanteldichte erfolgt durch Anlegen der Druckluft auf längere Zeit an die, unter Umständen auch noch unter Wasser gelegten Kabel.

für Kabelabschlüsse einen Vergleich anzustellen, soweit die Festigkeit gegen Druckluft in Betracht kommt.

5. Das ursprüngliche Anwendungsgebiet der Druckluft ist jedoch nicht die Prüfung von Kabeln, sondern — wie im Eingange dieses Abschnittes bemerkt wurde — die Beseitigung von Isolationsfehlern, die durch Feuchtigkeit entstanden sind. Das Verfahren besteht darin, daß trockene Luft mit einem gewissen Druck innerhalb des Bleimantels über die Fehlerstelle geblasen wird, sie nimmt dort die Feuchtigkeit nach und nach auf und tritt dann, mit Wasser durchsetzt, aus dem Kabel heraus. Die Arbeit wird so lange fortgesetzt, bis die Isolation des Kabels wieder die erforderliche Höhe erreicht hat. Auf S. 320 wurde bereits erwähnt, daß ein solches Verfahren im allgemeinen nur dann Zweck hat, wenn die Fehlerstelle zugänglich ist; die Austrocknung von Fehlerstellen innerhalb der Kanalrohre hat meistens wenig oder doch nur vorübergehenden Wert und kann in der Regel nur zur vorläufigen Aufrechterhaltung des Betriebes dienen.

Bei geringen Isolationsfehlern genügt das einfache Durchblasen von Druckluft durch das ganze Kabel. Bei größeren Fehlern muß aber der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft bereits dicht hinter der Fehlerstelle die Möglichkeit des Wiederaustritts geboten werden. In solchen Fällen erfordert die Arbeit zum Trocknen der Kabel, je nach der Menge der eingedrungenen Feuchtigkeit, oft erhebliche Zeit. Eine großenteils oder völlig mit Wasser angefüllte Lötstelle nur mit Druckluft aufzubessern, ist jedoch — selbst nach Ablassen des Wassers — nicht mehr ratsam und in annehmbarer Zeit kaum noch möglich. Auch die Trocknung längerer durchfeuchteter Kabelstücke ist in der Regel unzweckmäßig, wenn nicht ganz besonders günstige Verhältnisse [geringe Adernzahl, großer Luftraum. Papier von geringer Quellfähigkeit [1])] vorliegen. In allen anderen Fällen wird praktisch zur möglichst baldigen Beseitigung der Störungen nur die Auswechselung in Frage kommen. Zur Beschleunigung der Trocknung und zur Vermeidung des Übertritts von Wasserteilchen auf trockene Kabelstellen empfiehlt es sich, die Preßluft tunlichst von beiden Seiten gleichmäßig auf die feuchte Stelle strömen zu lassen, um die Feuchtigkeit aus derselben Öffnung, durch die sie in das Kabel eingedrungen ist, wieder hinauszutreiben.

Das Trocknungsverfahren wird erst dann wirklichen allgemeinen Erfolg haben, wenn es Hand in Hand mit einer regelmäßigen Druckluftprüfung geht. Beim Bemerken kleiner Isolationsmängel lassen sich die Fehler mit Trockenluft noch leicht und schnell beheben, wogegen die Austrocknung größerer Fehlerstellen oft die Kosten und den Zeitaufwand nicht mehr lohnen wird. Schließt man aber alsbald nach dem Bekanntwerden einer auch nur geringfügigen Störung die Druckluft an das gefährdete Kabel, so kann in vielen Fällen wenigstens zunächst das weitere Eindringen von Feuchtigkeit durch den Gegendruck vermieden werden. Dieses Verfahren hat besonderen Wert für unzugänglich verlegte Kabel, z. B. für Flußkabel.

Zur Beschleunigung der Kabeltrocknung sind umfangreiche Versuche gemacht worden, die Druckluft in erwärmtem Zustande in das Kabel einzulassen. Diese Versuche sind jedoch noch nicht zum Abschluß gekommen.

[1]) Zu vgl. S. 65.

Die Schwierigkeiten bei der Verwendung erhitzter Druckluft liegen naturgemäß nicht in der Unmöglichkeit, die Luft auf eine genügend hohe Temperatur zu bringen. Die Art der Erhitzung richtet sich nach der Konstruktion der eigentlichen Luftzubereitungsanlage und nach der Methode der praktischen Verwendung der Druckluft. Die Erwärmung kann entweder schon im Zusammenhange mit der Luftzubereitung oder auch davon getrennt in besonderen Heizanlagen erfolgen.

Die Mängel des Verfahrens mit erwärmter Luft bestehen darin, daß es überhaupt schwer ist, die erzeugte heiße Luft noch mit genügender Temperatur bis an die Fehlerstelle zu bringen. Es können je nach Lage der örtlichen Verhältnisse mehrere Meter lange Schlauchzuführungen erforderlich sein, die trotz sorgfältigster Umpackung mit schlechten Wärmeleitern doch noch zu große Wärmeverluste herbeiführen. Die größte Schwierigkeit liegt aber darin, daß die Bleimäntel und Kupferadern der Kabel selbst ausgezeichnete Wärmeleiter sind, denen gegenüber das Vermögen der Luft zum Halten von Wärme sehr gering ist. Aus diesem Grunde ist bereits schon auf kurzen Abstand hinter der Lufteinlaßstelle eine wesentliche Erwärmung kaum noch merkbar, der größte Teil der Wärme wird nutzlos abgeleitet, anstatt ihren eigentlichen Zweck zu erfüllen.

Für kurze Kabelstücke wird jedoch die Heißluft bei zweckmäßiger Anwendung voraussichtlich ein geeignetes Mittel zur Beschleunigung der Kabeltrocknung sein können, denn die Feuchtigkeit wird durch heiße Luft schneller fortgenommen; hierbei ist aber zu berücksichtigen, daß die erhitzte Luft bei ihrer allmählichen Abkühlung in dem Kabel hinter der durchnäßten Stelle wieder etwas Feuchtigkeit ausscheiden wird.

Die Temperatur der in das Kabel einzupressenden Luft soll zweckmäßig nicht viel mehr als die Verdunstungswärme des Wassers betragen und 100 bis 110° C nicht überschreiten. Bei höherer Wärme würde die Papierumspinnung der Adern Schaden leiden können, das Papier wird unter Umständen versengt und dadurch spröde und brüchig.

Dagegen scheint für die Trocknung der Kabel eine etwas erhöhte Spannung[1]) der Luft vorteilhaft zu sein. Je niedriger die Spannung beim Eintritt der Luft in das Kabel ist, desto langsamer wird sie der Austrittsstelle zuströmen; allerdings hat sie dabei auch mehr Zeit, sich mit Feuchtigkeit zu sättigen und so das Kabel ausgiebiger zu trocknen. Über die Geschwindigkeit des Trocknens gilt folgendes: Je trockener die Luft ist, um so begieriger, d. h. um so schneller wird sie Wasser aufnehmen; je mehr sie sich aber durch Feuchtigkeitsaufnahme ihrem Sättigungspunkt nähert, desto träger wird die Wasseraufnahme wieder werden; je schneller die Luft hindurchstreicht, um so weniger wird sich die gleiche Luftmenge mit Feuchtigkeit durchsetzen. Im allgemeinen werden bei höherem Druck ein größerer Luftverbrauch, aber auch schnellere Wirkung, bei niedrigem Druck geringerer Verbrauch und langsamere Wirkung eintreten. Die passende Spannung der Druckluft ist zunächst durch Versuche zu ermitteln. Da aber die Aufwendungen für die Luftzubereitung geringer sind als die Kosten für das Personal, so wird sich in der Regel das schnellere Verfahren mit etwas höher gespannter Luft empfehlen[2]).

---

[1]) Zu vgl. S. 333. — [2]) Zu vgl. S. 327 und 341.

Die Aufnahmefähigkeit der Druckluft für Feuchtigkeit ist praktisch in der Hauptsache davon abhängig, wie weit ihr Trockenzustand gebracht worden ist. Es muß also durch geeignete Maßnahmen dafür gesorgt werden, daß die für Kabel bestimmte Preßluft möglichst vollkommen trocken ist. Da die in den Luftzubereitungsanlagen angesaugte atmosphärische Luft stets mit Feuchtigkeit durchsetzt ist, wird es erforderlich, sie zunächst noch einem Trockenverfahren zu unterwerfen.

Als bestes Trockenmittel hat sich in der Praxis das Chlorcalcium erwiesen. Dieses ist außerordentlich wasserbegierig. Läßt man die Luft in geeigneten Behältern durch diese Masse streichen, so wird sie schließlich ihre gesamte Feuchtigkeit abgeben. Solche Trockenanlagen bestehen entweder aus mehreren hintereinander gefügten Behältern oder aus einem großen Kessel. Vor der Austrittsöffnung wird in diesen Trockenapparaten meistens noch ein Wattefilter als Staubfänger angebracht, der die Luft reinigt und das Mitreißen der aus der Atmosphäre oder vom Chlorcalcium herrührenden Staubteilchen verhindert. Die Zahl und die Größe der Trockengefäße, die man in ihrer Zusammensetzung als Trockenbatterie bezeichnet, werden für jeden Fall nach der ganzen Anlage gewählt. Dabei muß eine so ausreichend langsame Bewegung der Luft durch die Trockenvorrichtung sichergestellt sein, daß alle Feuchtigkeit aufgesaugt wird. Im allgemeinen wird die Einrichtung um so zweckmäßiger sein, je länger der Berührungsweg ist. Auch wird es vorteilhaft sein, in die Rohrleitungen hinter den Luftverdichtungsapparaten nochmals besondere Trockenfilter zur Aufnahme etwa noch bei der Verdichtung ausgeschiedener Feuchtigkeit einzuschalten.

Das Chlorcalcium verliert aber mit der Zeit seine guten Eigenschaften, die Oberfläche bleibt bei altem, längere Zeit gebrauchtem Material nicht mehr genügend wirksam, so daß eine hinreichende Trocknung nicht mehr erreicht werden kann. Das Material muß also von Zeit zu Zeit ersetzt werden.

Zur Prüfung auf genügenden Trockenzustand der Gebrauchsluft kann man diese durch ein genau abgewogenes Gefäß mit konzentrierter Schwefelsäure hindurchleiten. Ist die Luft gut getrocknet, so darf keine Gewichtszunahme der Säure zu bemerken sein; sonst genügen Hygrometerprüfungen.

6. Es ist oben an letzter Stelle noch als eine Verwendungsmöglichkeit der Druckluft die Trockenhaltung der Kabelspleißstellen während ihrer Anfertigung bezeichnet worden. Dieses Verfahren [1]) ist seinerzeit bei Einrichtung der Druckluftanlagen in Frankreich eingeführt worden. Es wird während der Arbeit ein dauernder Luftstrom vom Anfang des Kabels aus über die offene Spleißstelle unterhalten. Dieser soll die an den Adern etwa haftende Feuchtigkeit mitnehmen und dadurch die Anfertigung der Lötstellen sicherer bewerkstelligen lassen. Die R. T. V. hat dieses Verfahren nicht übernommen. Ganz abgesehen von den Kosten, verspricht die Maßnahme besonders für die hochpaarigen Kabel nicht genügenden Erfolg.

Für die Menge der zu Luftprüfungszwecken erforderlichen Druckluft ist zunächst die Größe des Luftraumes in den Kabeln maßgeblich; dessen Berechnung zeigt das folgende Beispiel.

[1]) E. T. Z. 1897, S. 207.

Für 1 m 250 paarigen Fernsprechkabels mit 0,8 mm starken Leitern sind ermittelt worden: Gewicht des Papiers — dessen spezifisches Gewicht[1]) mit 1 angenommen werden soll — 592 g, mithin Rauminhalt des Papiers 592 ccm; Kupfer $0{,}04^2 . 3{,}14 . 500 . 100 = 251{,}2$ ccm; äußerer Umfang des 2,9 mm starken Bleimantels 20,2 cm, innerer Durchmesser also $\frac{20{,}2}{3{,}14} - 0{,}58 = 5{,}85$ cm; Querschnitt des Zylinders $\frac{5{,}85^2 . 3{,}14}{4} = 26{,}863$ qcm. Also beträgt der Luftinhalt von 1 m Kabel $2686{,}3 - (251{,}2 + 592) = 1843{,}1$ ccm, d. h. rund 1,84 Liter. Diese Zahl ist indessen nur für dieses bestimmte Kabelstück richtig. In gleicher oder ähnlicher Weise läßt sich der entsprechende Wert für jedes andere Kabel leicht ermitteln; der Lufthohlraum schwankt jedoch erfahrungsgemäß selbst für Kabel derselben Adernzahl je nach ihrer Fabrikation in sehr weiten Grenzen, bis etwa zu 40 v. H.

Die Zeit[2]), welche erforderlich ist, um ein gut abgeschlossenes Kabel ausreichend mit Druckluft zu füllen, hängt von dem Druck der eingelassenen Luft, von der Länge des Kabels und schließlich, wenn auch in geringerem Maße, von der Adernbewickelung ab. Kabel mit dickerem Papier setzen der Druckluft etwas mehr Widerstand entgegen; auch die Art und die Dichte der Papierumspinnung können die Arbeit beeinflussen. Der Reibungswiderstand zwischen Luft und Papier, zwischen den einzelnen Aderhüllen und durch die Poren des Papiers, sowie auch zwischen Kabelseele und Kabelhülle ist recht verschieden. Unter Umständen beeinträchtigen auch scharfe Biegungen und Knicke im Kabel durch Zusammenziehung der Luftwege den Luftdurchgang.

Die Zeitdauer zur Füllung der Kabel wächst [nach Pinkert[3])] in geometrischer Steigerung mit der Länge des Kabels. Wenn die Erfahrung für eine vorhandene Druckluftanlage erst gezeigt hat, wieviel Zeit bei einer gewissen Kabeltype für eine bestimmte Länge erforderlich ist, um einen gewünschten Spannungszustand im Kabel zu erreichen, so kann man die für einzelne Fälle notwendige Zeit ziemlich sicher vorhersagen; das Ausbleiben oder verspätete Ansteigen des Druckes läßt dann erkennen, daß das Kabel schadhaft ist, sofern nicht etwa sonstige Fehler vorliegen.

Voraussetzung für alle derartigen Feststellungen ist noch, daß die Luft durch die ganze Länge des Kabels hindurch ungehinderten Durchgang findet, daß also z. B. nicht noch etwaige Reste von Imprägniermaterial an den Spleißstellen vorhanden sind. Solche Zufälligkeiten können das Druckluftverfahren und die Ergebnisse der Prüfungen vollständig wertlos machen und zu falschen Schlußfolgerungen und Maßnahmen führen.

Die vorstehend erwähnten Umstände lassen aber, ganz abgesehen von der örtlichen Lage und der Größe des Fehlers selbst, den Erfolg einer Druckluftprüfung mit ausreichender Sicherheit oft kaum voraussagen. Es kann lange Zeit dauern, bis am Ende eines längeren Kabels ein Überdruck bemerkbar wird, noch mehr Zeit erfordert dann der Ausgleich der Druckspannung in dem ganzen Kabel. Aus Sicherheitsgründen geht man in der Regel nicht über zwei bis drei Atmosphären Überdruck hinaus. Im all-

[1]) Zu vgl. S. 64. — [2]) Zu vgl. Anm. 1, S. 323. — [3]) Zu vgl. Anm. 2, S. 335.

gemeinen wird für längere Strecken am Kabelanfang eine etwas höhere Spannung zweckmäßig sein als für kürzere. Daher ist für ortsfeste Druckluftanlagen, bei denen die Luft vom Amte aus durch die ganzen Kabellängen getrieben werden muß, eine höhere Gebrauchsspannung schon von Haus aus notwendig, als für transportabele Einrichtungen, die das Einlassen der Preßluft in der Nähe der Fehlerstelle gestatten; doch sind die Ansichten über die Höhe der Betriebsspannung verschieden.

Es ist bereits früher[1]) bemerkt worden, daß der feste Abschluß der Kabel an ihren Enden Vorbedingung für eine zuverlässige Prüfung mit Druckluft ist, da sonst die Luft dort entweichen wird. Daher ist das sorgfältige Ausgießen der Endabschlüsse ein ganz besonders wichtiges Erfordernis. Wie die Erfahrung gelehrt hat, ist indessen bei den länger dauernden Prüfungen ein Gleichgewichtszustand in dem ganzen Kabel von der Einlaßstelle der Druckluft bis zum Ende nur dann zu erreichen, wenn das Kabel mit einer verlöteten Bleikappe verschlossen ist. Bei den übrigen Abschlüssen fällt nach einiger Zeit der Druck ab. Diese Erscheinung beruht [nach Pinkert[2])] vermutlich darauf, daß sich die Isoliermasse wegen ihres hohen Ausdehnungskoeffizienten nach dem Erkalten in den Endverschlüssen stark zusammenzieht, so daß sich in ihr feine Risse bilden, die der Druckluft einen Durchgang bieten. Auch ist mehrfach beobachtet worden, daß anfänglich luftdichte Abschlüsse unter der Einwirkung der Druckluft mit der Zeit undicht werden. Eine absolute Abdichtung läßt sich kaum erreichen, doch kann bei Anwendung aller durch die Erfahrung gewonnenen Vorsichtsmaßregeln ein Abschluß erzielt werden, der den Anforderungen des praktischen Betriebes genügt.

Die Luftzubereitungsanlagen.

Die notwendigen Hauptbestandteile einer Zubereitungsanlage für Druckluft sind eine Kompressionsmaschine, die Triebmaschine (Motor usw.) für die Luftpumpe, Luftbehälter, Trocken- und Kühlapparate, sowie Vorrichtungen zur Reduzierung der Spannung der erzeugten Preßluft auf die Gebrauchsspannung.

Man kann die Drucklufteinrichtungen in folgende Systeme einteilen:

1. Bewegliche Anlagen, die das Einlassen der Druckluft in die Kabel an jeder beliebigen Stelle gestatten. Hierbei ist wieder zu unterscheiden:
   a) Die Druckluft wird auf der Strecke an Ort und Stelle bereitet
      α) durch Handbetrieb,
      β) durch Maschinenbetrieb.
   b) Die Druckluft wird in örtlich von den Kabeln getrennten Anlagen auf Vorrat erzeugt und in besonderen Behältern zur Verwendungsstelle gebracht.
2. Ortsfeste Anlagen, bei denen die Druckluft in einer Zentrale erzeugt und unmittelbar von dieser aus verwendet wird:
   a) Die Druckluft wird in der Betriebszentrale an der Kabeleinführung in die Kabel eingelassen.

[1]) Zu vgl. S. 240, 281 u. 284. — [2]) Zu vgl. Anm. 2, S. 335.

b) Die Druckluft wird von der Druckluftstation aus durch ein besonderes Rohrsystem neben den Kabelkanalanlagen fortgeführt und an geeigneten Stellen (in den Kabelbrunnen) mittels besonderer, fest montierter Vorrichtungen abgenommen.

Es liegt auf der Hand, daß eine Einrichtung zu 2b die am meisten wünschenswerte ist. Jedoch sind die Anlagekosten nicht unerheblich, selbst wenn die Luftführungsrohre usw. gleichzeitig mit den Kanälen verlegt werden. Eine solche Anlage kann dann zugleich aber auch anderen Zwecken dienstbar gemacht werden, z. B. der bereits erwähnten Trockenhaltung der Lötstellen beim Spleißen der Kabel, sowie der Entlüftung von Kabelbrunnen[1]). Praktisch ausgeführt ist ein solches System, soweit bekannt geworden, bisher noch nicht. Nur in Paris ist eine ähnliche Möglichkeit gegeben. Hier bietet sich nämlich der große Vorteil, daß durch die ganze Stadt ein pneumatisches Verteilungssystem für gewerbliche Zwecke vorhanden ist. In dieser Anlage hat die Luft allerdings einen hohen Druck, doch kann die Druckluft in einfacher Weise durch Reduzierventile an geeigneten Abnahmestellen auf die für die Kabelbehandlung erforderliche niedere Spannung gebracht werden.

Eine Anlage mit transportabelen Flaschen für Druckluft ist in Berlin vorhanden und mit gutem Erfolge bereits über 10 Jahre im Betriebe. Handbetriebsanlagen sind wohl kaum noch in Tätigkeit, da ihre Lufterzeugung bei verhältnismäßig hohen Kosten nur gering ist; eine solche Einrichtung war z. B. früher in Hamburg vorhanden. Dagegen sind fahrbare Maschinenanlagen mit Motorantrieb im Reichstelegraphengebiet mehrfach im Gebrauch, so z. B. in Hamburg und Chemnitz. Ihnen gegenüber hat aber das Flaschensystem den ganz wesentlichen Vorteil, daß es die gleichzeitige Druckluftbehandlung einer beliebigen Anzahl von Kabeln, und auch an verschiedenen Stellen, gestattet. Von ortsfesten Anlagen ist zurzeit in Deutschland nur eine einzige, bei der neuen Fernsprechzentrale in Hamburg, in Betrieb.

Die Frage, ob fahrbare oder ortsfeste Anlage, kann von vornherein nicht allgemein entschieden werden. Als Antriebskraft wird für ortsfeste Anlagen wegen seiner Einfachheit und Sicherheit nur der Elektromotor in Frage kommen, dagegen ist man bei fahrbaren Anlagen auf den empfindlicheren und weniger bequemen Benzinmotor angewiesen.

Der Vorzug der fahrbaren Einrichtungen liegt in ihrer großen Beweglichkeit und in der Benutzungsmöglichkeit an jeder Stelle. Dagegen ist der Betrieb ortsfester Anlagen im allgemeinen verhältnismäßig billiger. Es ist auch nicht zu verkennen, daß mit den größeren Pumpenanlagen in den Zentralen erheblich größere Mengen Luft zu jeder Zeit bereit gehalten werden können. Die fahrbare Anlage ist namentlich für die Kabeltrocknung, die ortsfeste mehr für die Kabelprüfung vorteilhaft. Eine erwünschte Verbindung beider Systeme liegt in der Einrichtung einer ortsfesten Anlage zur Erzeugung der Druckluft, zugleich mit besonderen Vorkehrungen zur Ansammlung der Luft in transportabelen und überall, auch unter den beschränktesten örtlichen Verhältnissen verwendbaren Behältern.

---

[1]) Zu vgl. S. 190.

Der Umfang der Anlage richtet sich nach dem Kabelnetz, sowie danach, ob die Einrichtung noch anderen Zwecken nutzbar gemacht werden soll. Diese Nebenzwecke sind sehr wohl zu berücksichtigen, um die Anlage möglichst rentabel zu machen. In der Hauptsache dürfte hierbei die Einrichtung von Entstaubungsanlagen, wie es z. B. in Hamburg geschehen ist, in Betracht kommen.

Die Druckluftanlage in Berlin besteht aus einer stationären Anlage zur Herstellung der Preßluft und aus transportabelen Behältern zur Fortschaffung der Luft zu den Verbrauchsstellen.

Die Druckluft wird bei einer Rohrpostmaschinenstation erzeugt. Der dortige Kesselwärter übernimmt nebenbei die einfache Wartung der Druckluftzubereitungsanlage, so daß die Herstellungskosten infolge des Fortfalles besonderen Bedienungspersonals verhältnismäßig gering sind.

Die erste im Jahre 1899 konstruierte Anlage bestand aus einer kleinen Dampfluftpumpe mit Kühlgefäß und Trockenbatterie. Diese Maschine wurde durch die Dampfmaschine der Rohrpoststation mit angetrieben, es wurde mithin eine besondere Kraftquelle für die Zubereitungsmaschine erspart. Die Luft wurde bei einer Leistung von stündlich 10 cbm in vier Windkesseln von je 500 Liter Rauminhalt bis auf 6 Atm. Überdruck verdichtet, so daß 2000 Liter nutzbarer Preßluft angesammelt werden konnten.

Infolge des steigenden Verbrauchs an Druckluft genügte diese Einrichtung jedoch dem Bedarf nicht mehr. Es wurde daher im Jahre 1906 bei der erwähnten Maschinenstation eine neue Anlage aufgestellt. Ein Elektromotor, der bei rund 800 Umdrehungen in der Minute 3,3 PS leistet, treibt einen zweistufigen Tandemkompressor, der in drei Betriebsstunden 10 cbm Luft von Atmosphärendruck ansaugt und zunächst auf 15 und dann auf 100 Atm. Überdruck verdichtet. Die aus dem Maschinenraum angesaugte Luft streicht zunächst durch mehrere, hintereinander geschaltete, große Tongefäße mit Chlorcalcium und dann noch durch ein Glasgefäß mit Wattefilter, ehe sie der ersten Abteilung des Kompressors zugeführt wird. Die Aufwendungen für die ganze Einrichtung haben etwa 4800 ℳ betragen.

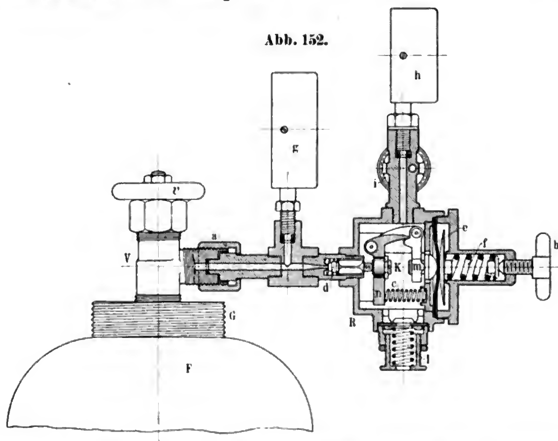
Zur praktischen Verwendung wird in der Station die auf 100 Atm. verdichtete Luft aus der Hochdruckabteilung des Kompressors durch ein Chlorcalciumfilter in Kohlensäureflaschen ähnliche Behälter aus Stahl von je 52 Liter Rauminhalt gepreßt. Die Füllung einer solchen Flasche, die also 5,2 cbm Luft von Atmosphärendruck enthält, verursacht ungefähr 36 ₰ Kosten; dieses ist eine nur sehr geringe Aufwendung.

Zur Behandlung der Papierkabel mit trockener Druckluft nach dem in Berlin eingeführten Verfahren sind neben einer Anzahl mit Trockenluft gefüllter Flaschen an Geräten erforderlich: Ein Reduzierventil, ein armierter Gummischlauch mit Verschraubungen, ein Hygrometer, ferner Kabelanschlußstutzen mit Gewinde für Schlauchverschraubungen und schließlich noch die Anschlußschellen für die Stutzen. Die nähere Einrichtung ist aus **Abb. 152** zu ersehen.

Die mit Fuß und Handgriffen ausgerüstete Stahlflasche F von 2 m Höhe, 20 cm äußerem Durchmesser und rund 75 kg Gewicht trägt an ihrem Kopfende ein Absperrventil V, das durch ein Handrad v betätigt wird.

Dieses Absperrventil ist, wenn die Flasche nicht benutzt wird, durch eine auf das Gewinde *G* aufgeschraubte Schutzkappe gegen Beschädigungen gesichert; in diese Schutzkappe sind zwei kleine Löcher gebohrt, damit sich unter keinen Umständen Preßluft ansammeln kann, wenn der Flaschenverschluß *v* aus irgend einem Grunde nicht sicher schließen sollte. Solange die Flasche nicht benutzt wird, trägt auch der freie seitliche Stutzen des Absperrventils innerhalb der Schutzkappe eine kleine, aufgeschraubte, metallene Schutzkappe. Das Absperrventil *V* darf an einer mit Preßluft gefüllten Flasche nur ganz langsam und nur dann geöffnet werden, wenn das Reduzierventil an diesem Ventil befestigt ist.

Abb. 152.



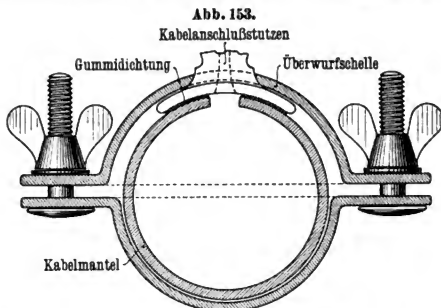
Das Reduzierventil *R* hat den Zweck, die bis auf 100 Atm. zusammengepreßte Luft unter der mäßigen und ungefährlichen Spannung von $1^1/_2$ Atm. Überdruck aus der Stahlflasche herauszulassen; es wird mittels der Überwurfmutter *a* an dem Absperrventil der Stahlflasche befestigt. Beim Öffnen des Absperrventils tritt die Druckluft unter hoher Spannung gegen das kleine Ventil *d* und in das Hochdruckmanometer *g*; letzteres zeigt also die Spannung und zugleich auch entsprechend die Menge der noch in der Flasche enthaltenen Luftmenge an. Das Ventil *d* ist gewöhnlich durch die Spiralfeder *c* und den zweiarmigen Hebel *n* geschlossen gehalten. Wird die Druckschraube *b* in das Ventilgehäuse hineingedreht und infolgedessen die Membran *e* durch die Spiralfeder *f* gegen den ebenfalls zweiarmigen Hebel *m* gedrückt, so bewegt sich der Hebel *n* derart, daß die Spirale *c* zusammengepreßt und das Ventil *d* entlastet wird. Die Druckluft öffnet alsdann dieses Ventil ein wenig und tritt in die Kammer *K* des Reduzierventils über. Die Spannung der Membran *e* und die Druckflächen des Ventils *d* sind so bemessen, daß sich in der Kammer des Reduzierventils nur eine niedrige, durch die Druck-

schraube *b* regulierbare Spannung entwickeln kann; diese Betriebsspannung wird durch ein zweites Manometer *h* für niederen Druck angezeigt.

Durch das kleine, unterhalb des Manometers *h* angebrachte Absperrventil *i* tritt die trockene Luft mit reduzierter Spannung in den Schlauch. Das Ventil *i* wird durch Drehung eines Handrädchens betätigt. Außerdem ist noch ein plombiertes Sicherheitsventil *l* vorhanden, das die Druckluft ins Freie ausläßt, wenn die Spannung der in das Kabel einströmenden Luft infolge irgend einer Störung eine unzulässige Höhe erreicht. Die Druckluft wird aus der Stahlflasche durch einen starkwandigen, mit Draht armierten Gummischlauch, der an beiden Enden durch Drahtbindungen befestigte Verschraubungen trägt, in das Kabel geleitet. Der Schlauch und seine Bindungen sollen vor jeder Benutzung sorgfältig geprüft werden.

Der Kabelanschlußstutzen (**Abb. 153**) ist ein mit Flansch versehener Gewindestutzen aus Rotguß, er dient zur Befestigung des Schlauches

Abb. 153.
Kabelanschlußstutzen



an dem mit Trockenluft zu behandelnden Kabel. Der dem Umfange des Kabelmantels entsprechend gebogene Flansch — es sind verschiedene Anschlußstutzen im Gebrauch — wird mit dem Mantel durch Lötung oder — wie in der Abbildung — durch Schellenverschraubung fest verbunden. Zum Schutze des Gewindes trägt der Anschlußstutzen für gewöhnlich eine aufgeschraubte Metallkappe, die im Gebrauchsfalle abgenommen wird.

Das Hygrometer — ein Bourdon-Hygrometer — dient zur Feststellung des Feuchtigkeitsgehaltes der Druckluft; es ruht in einem leichten Blechbehälter, dessen Wandung durchlocht ist, so daß die zu prüfende Luft leicht hindurchstreichen kann.

Die Einführung der Druckluft in das Kabel geschieht in der Weise, daß ein etwa 1 qcm großes Stück aus dem Bleimantel vorsichtig herausgeschnitten und der Flansch des Stutzens genau über dieser Öffnung auf den Bleimantel unter Abdichtung mit einer durchbohrten Gummischeibe mit Überwurfschelle luftdicht angeschraubt wird (Abb. 153). Um das Eindringen der Luft in das Kabelinnere zu erleichtern, ist in der unter der Öffnung befindlichen Papier- oder Bandumwickelung der Kabelseele vorsichtig eine feine Öffnung herzustellen. Nach Beendigung des Verfahrens wird das in den

Bleimantel geschnittene Loch sorgfältig wieder zugelötet. Soll der Druckluftanschluß an Lötmuffen erfolgen, so ist eine derartige Schraubverbindung nicht angängig. Für solche Fälle verwendet man einfache Stutzen mit gebogenem, verzinntem Messingansatz, der mit der Bleimuffe genau oberhalb einer eingeschnittenen Öffnung sorgfältig verlötet wird.

Die Aufwendungen für eine Stahlflasche (77 ℳ) und einen Satz Hilfsgeräte (Reduzierventil mit Schutzkasten, armierter Gummischlauch, Luftablaßhahn, Hygrometer und sechs Stutzen verschiedener Größe) betragen zusammen rund 160 ℳ.

Eine weitere Verwendungsmöglichkeit der transportabelen Flaschen ist in Berlin noch dadurch gegeben, daß die Druckluft gelegentlich auch zur Beseitigung von Störungen im Stadtrohrpostnetz beim Festfahren von Rohrpostzügen benutzt wird.

Der Berliner Lufterwärmungsapparat für Zwecke der Kabeltrocknung besteht aus einem fahrbaren, langgestreckten, großen Ofen mit Chamotteauskleidung. Letztere hat den Zweck, die Eisenteile vor dem Verglühen und Verbrennen zu sichern, und gleichzeitig die Aufgabe, als Wärmespeicher zu dienen und die Ungleichheiten in der Anheizung zu mildern. Als Heizkörper dient ein für die Verfeuerung von Koks eingerichteter Rost. Die Druckluft wird aus dem Reduzierventil der Flaschen durch einen kurzen Schlauch in eine durch den Ofen laufende, in Chamottebettung liegende Heizschlange geleitet und an deren anderem Ende wieder mit einem Schlauch abgenommen.

Dieser Apparat hat hinsichtlich der Erhitzung den Anforderungen ausreichend entsprochen. Seine Konstruktion ist jedoch noch nicht als abgeschlossen zu betrachten, zumal der Wagen sehr groß und schwer und daher nicht überall in genügender Nähe an die Kabelfehlerstellen heranzubringen ist. Die Luft läßt sich in dem Ofen auf hohe Temperaturen erhitzen, die Heizkosten betragen für 5 Stunden etwa 2,50 ℳ, wovon aber der größte Teil bereits auf die erste Stunde entfällt. Die besonderen Schwierigkeiten liegen darin, die Luft nach dem Austritt aus der Heizschlange durch den Schlauch hindurch noch in genügender Temperatur in das Kabel zu bringen. Vorbedingung ist daher eine solche Schlauchkonstruktion, die einer Wärmeausstrahlung nach außen möglichst vorbeugt. Bei längeren Schläuchen, z. B. in tiefen Kabelbrunnen, ist es aber recht schwer, noch ausreichende Wärme zum Kabel zu führen (zu vgl. S. 325 u. 342).

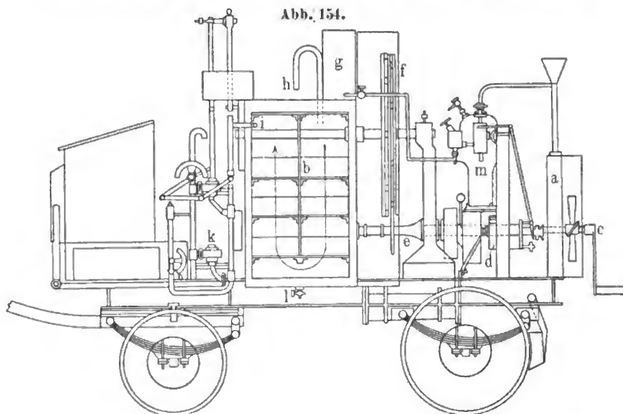
In Hamburg sind, wie bereits erwähnt, eine ältere fahrbare und eine neue ortsfeste Anlage für die Zubereitung von Druckluft vorhanden. Beide Anlagen sind im Gegensatz zu der Berliner Einrichtung für niedrig komprimierte Luft gebaut. Solche Anlagen haben zwar allgemein gegenüber denjenigen für hochgespannte Luft den Vorteil größerer Wirtschaftlichkeit, da bei dem System mit hochgespannter Druckluft die zum Zusammenpressen der Luft geleistete Arbeit nachher zum größten Teil wieder verloren geht, während bei den anderen Anlagen nur so viel, oder doch nicht wesentlich mehr Druck erzeugt wird, als das Durchtreiben der Luft durch das Kabel erfordert. Will man aber die irgendwo erzeugte Druckluft in handlichen Be-

hältern nach einem beliebigen Verwendungsort transportieren, so läßt sich ein solcher Energieverlust nicht vermeiden — er ist auch bei den verhältnismäßig geringen Kosten für die Luftzubereitung in Berlin gegenüber den Vorzügen dieses Systems nicht nennenswert. Unabhängig von der Erzeugungsspannung ist aber andererseits die Wirtschaftlichkeit nach der mit der tatsächlichen Betriebsspannung erreichten Leistung zu beurteilen.

Die Konstruktion der fahrbaren Druckluftanlage in Hamburg ist aus **Abb. 154** zu ersehen.

Das aus Façoneisen hergestellte, gut gefederte Wagengestell trägt hinten den Benzinmotor *m* mit Kühler und dem Kühlergefäß *a*, davor den Trockenbatteriekasten *b*, an dem oben der Benzinbehälter *g* und vorn der

Abb. 154.



Kompressor *k* befestigt sind. Durch den Kasten der Trockenbatterie geht die Welle des Getriebes hindurch, das den Motor mit dem Kompressor verbindet.

Der Benzinmotor liefert die Betriebskraft der Anlage und kann gleichzeitig dazu dienen, die Trockenluft durch seine Abgase vorzuwärmen. Zum Anlassen dient die Handkurbel *c* hinten an der durch das Kühlwassergefäß hindurchgeführten Motorwelle. Der Motor leistet bei normalem Betriebe etwa 2 PS. Der Kühler entspricht in seiner Einrichtung den Motorwagenkühlern. Ein auf der Motorwelle angebrachter Ventilator erzeugt den zum Kühlen des Wassers nötigen Luftstrom. Die Zündung des Motors erfolgt durch eine elektromagnetische Zündvorrichtung *d* besonderer Konstruktion. Die Abgase des Motors werden in einen Auspufftopf geleitet und von hier entweder ins Freie abgelassen oder zur Vorwärmung der Trockenluft durch eine Rohrleitung nach der Anwärmevorrichtung geführt. Eine ausrückbare Kuppelung *e* macht es möglich, den Motor beim Anlassen leer laufen zu lassen und ihn erst nach Erlangung der vollen Tourenzahl mit dem Getriebe

zu verbinden. Durch das Getriebe *f* wird die Motorkraft unter entsprechender Verminderung der Tourenzahl auf die Kompressorwelle übertragen. Der Benzinbehälter *g* ist auf der Trockenbatterie montiert.

Die Trockenbatterie *b* besteht aus einem schmiedeeisernen Kasten, der in der Mitte durch eine Scheidewand getrennt ist; er enthält sechs Siebe mit Trockenmasse. Die atmosphärische Luft tritt durch einen, mit einem Sieb abgeschlossenen Hahn *h* in die Trockenbatterie ein, gelangt durch das Saugrohr *i* in den Kompressor *k* und dann weiter durch einen kräftigen Schlauch in das Kabel. Damit Staubteilchen nicht in das Kabel gelangen, ist vor dem Luftaustritt *i* noch ein Wattesieb angebracht. Zur Ablassung der in der Trockenbatterie sich ansammelnden Wassermassen dient ein am Trockenkasten angebrachter Entleerungshahn *l*.

Die Kontrollapparate sind an der Vorderseite des Wagens angebracht und dienen zur Überwachung und Aufrechterhaltung des ordnungsmäßigen Ganges der Luftdruckanlage. Es sind vorhanden: Ein Thermometer für die Messung der in dem Vorwärmer befindlichen Trockenluft, ein Sicherheitsventil mit Signalpfeife, das bei 3 Atm. Überdruck abbläst und dadurch die Signalpfeife zum Tönen bringt, ein Manometer zur Feststellung des Druckes und ein in einem kleinen, mit Glasscheiben versehenen Kasten untergebrachtes Lambrecht'sches Polymeter zur Messung der Luftfeuchtigkeit und der Wärme der durchströmenden Luft.

Soll die Anlage in Betrieb genommen werden, so wird der Motor mit der Handkurbel in Bewegung gesetzt. Die Tourenzahl des Motors kann nach Belieben geregelt werden; das Kühlwasser zirkuliert selbsttätig. Sobald die Kuppelung eingerückt ist, überträgt sich die Bewegung auf den Kompressor, der durch die Trockenbatterie Luft ansaugt und sie durch den Schlauch in das Kabel drückt. Zur etwaigen Erwärmung der Trockenluft ist eine Rohrleitung von dem zugleich als Schalldämpfer dienenden Auspufftopf zum Anwärmer geleitet. Je mehr die Schaltvorrichtung am Auspufftopf geöffnet wird, desto mehr Abgase gehen durch den Anwärmer und desto höher wird die Luft erwärmt; jedoch ist eine Erhitzung der Luft bis zur Siedetemperatur des Wassers bei dieser Anlage nicht möglich.

Diese fahrbare Anlage wird in der Hauptsache jetzt nur noch zum Kabeltrocknen an Ort und Stelle verwendet. Außerdem wird sie im Winter auch mit gutem Erfolge zum Auftauen [1]) von eingefrorenen Kabelbrunnendeckeln benutzt.

Während die fahrbare Druckluftanlage in ihrer Leistung dem Umfange der im Einzelfalle notwendigen Drucklufterzeugung angepaßt ist, besitzt die ortsfeste Druckluftanlage in Hamburg [2]) eine erheblich höhere Leistung. Diese ist deshalb erforderlich, weil sämtliche Kabelprüfungen von der Zentrale aus — unter Umständen auch gleichzeitig in mehreren Kabeln — ausgeführt werden, daß also die Druckluft durch die Kabel vom Amt bis zum Endabschluß geblasen wird. Im weiteren ist bei der Einrichtung der Anlage von

---

[1]) Zu vgl. S. 186. — [2]) Die folgende Beschreibung ist mit Genehmigung des Verfassers, Telegr.-Ing. Pinkert in Hamburg, einem zur Veröffentlichung im „Archiv für Post und Telegraphie" bestimmten Aufsatz: „Die Druckluftanlagen im neuen Fernsprechamt zu Hamburg" entnommen; aus diesem Aufsatz rühren auch noch einige Angaben allgemeinen Inhalts her.

vornherein darauf Rücksicht genommen worden, sie auch noch für andere Zwecke dienstbar zu machen. In der Praxis hat sich sogar gezeigt, daß diese weiteren von der Anlage zu erfüllenden Aufgaben etwa 60 v. H., also mehr als die Hälfte der Gesamtleistung ausmachen.

Die zur Instandhaltung des Kabelnetzes nötigen Maschinen sind nämlich derart konstruiert worden, daß sie gleichzeitig zur Entfernung des Staubes aus den Betriebsräumen und Apparaten verwendet werden können. Es ist ohne weiteres klar, daß eine zweckmäßig eingerichtete, regelmäßige Entstaubung der Apparate und einzelnen Apparatteile, namentlich der besonders der Verstaubung ausgesetzten Klinken und sonstigen Kontaktstellen, vielen Betriebsschwierigkeiten vorbeugen und auch die Lebensdauer des ganzen Amtes verlängern wird. Es können erhebliche Kosten für Instandsetzungen und Störungsbeseitigungen erspart werden, auch werden durch bessere Reinhaltung der Luft und der Diensträume zweifellos die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Beamten gefördert, sowie die Zahl der Erkrankungen und die allgemeinen Betriebskosten ermäßigt. Schließlich sind auch noch die abnehmenden allgemeinen Gebäudeinstandsetzungs- und Reinigungskosten zu berücksichtigen. Wenn also auch die Entstaubungsanlage[1]) Unkosten verursacht, so werden diese doch durch den Nutzen der Einrichtung reichlich aufgewogen.

Die gesamte, für das Kabelnetz und die Entstaubungseinrichtung notwendige Druckluftanlage ist im Keller des neuen Fernsprechamtes untergebracht. Die Maschinenanlage besteht aus einem Nebenschluß Elektromotor von 10 PS Leistung, dem Kompressor und dem Windkessel. In letzterem wird die Luft vor ihrem Eintritt in die Weiterführungsrohre gekühlt und außerdem noch von dem aus dem Kompressor in die Luft etwa übergetretenen Öl befreit. Das Ende des für die Zuleitung der Preßluft zum Kabelnetz bestimmten Rohrzweiges führt zunächst zu einem Trockenkessel, von dem die Luft dann zu den im Hauptkabelbrunnen des Amtes befindlichen, für gewöhnlich geschlossenen fünf Zapfstellen geleitet wird.

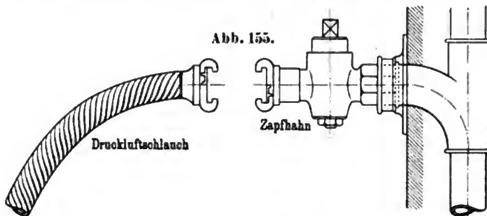
Der außen mit Wasserkühlung versehene Kompressor saugt bei 220 Umdrehungen seines durch den Elektromotor getriebenen Schwungrades in der Minute 1,15 cbm Luft durch einen Trichter aus dem Kesselraum an und treibt sie mit einer Höchstspannung von 4,2 Atm. Überdruck in den Windkessel. Durch eine besondere neuartige, automatische Vorrichtung ist dafür gesorgt, daß diese Spannung nicht überschritten werden kann. Dieser selbsttätige Regulierungsapparat trägt durch seine Konstruktion wesentlich dazu bei, den Energieverbrauch des Kompressors auch bei schwacher Belastung in wirtschaftlichen Grenzen zu halten. Der Windkessel hat noch einen zylindrischen Aufsatz mit einem Rippenrohr für Wasserkühlung. Die Luft

[1]) Zur Erläuterung sei kurz folgendes bemerkt: Die Entstaubung erfolgt in Hamburg nach drei verschiedenen Verfahren: Entweder wird die Druckluft unmittelbar zum Wegblasen des Staubes verwendet (zum Säubern verstaubter Apparatteile außerhalb der Betriebsräume), oder es erfolgt das reine Absaugen (zum Reinigen von Decken, Wänden, Schränken, Kabelpaketen usw.), oder aber es wird die gemeinsame Wirkung von Druck- und Saugluft (beim Reinigen der Apparate in den Betriebssälen) angewendet. Die saugende Wirkung zum Entstauben wird dadurch erzielt, daß die Druckluft durch eine Strahldüse gegen ein Filter getrieben wird und durch diesen scharfen Zug den Luftstrom aus Saugmundstücken heranzieht, die durch Luftschläuche mit dem Filter in Verbindung stehen.

streicht aus dem Kompressor zunächst durch diesen Aufsatz, wobei sich die in ihr enthaltene Feuchtigkeit ausscheidet, außerdem wird das etwa mitgerissene Öl durch eine besondere Düse entfernt. Öl und Wasser werden aus dem Windkessel durch Hähne abgelassen. Die Druckluft ist jetzt zum Entstauben genügend rein und trocken, für Kabelzwecke muß sie aber zunächst noch weiter getrocknet werden. Hierzu dient die oben erwähnte Trockenvorrichtung. Diese besteht aus einem schmiedeeisernen, ringförmigen, stehenden Kessel von 1000 Liter Rauminhalt mit mehreren, übereinander gelagerten Chlorcalciumsieben. Vor die Austrittsstelle der Luft ist noch ein Reduzierventil zur Herabdrückung der Spannung auf 3 Atm. Überdruck eingesetzt, außerdem ist in der Weiterführung noch ein durch Siebe abgeschlossenes, erweitertes Rohr von 5 m Länge mit Chlorcalciumfüllung zur nochmaligen Trocknung der Druckluft vorhanden.

Die Konstruktion der als Auslaß für die Druckluft bezeichneten **Zapfstellen** ist aus **Abb. 155** zu ersehen. Ein kräftiger Schlauch wird an einer

Abb. 155.



Seite mittels elastischer Schlauchkuppelung an den Zapfhahn und mit dem anderen Ende an die auf den Kabeln sitzenden Anschlußstutzen angeschlossen. Die Zuführung der Druckluft erfolgt dann durch Aufdrehen des Zapfhahnes.

Die ganze Anlage ist von der Firma A. Borsig in Tegel im Jahre 1908 geliefert worden und hat sich bis jetzt ausgezeichnet bewährt. Die gesamte Einrichtung hat einen Aufwand von etwas über 11000 ℳ erfordert, davon entfallen allerdings 3300 ℳ auf die zum Entstauben dienenden besonderen Teile (einschließlich deren Rohrleitungen und 57 Zapfstellen, sowie der verschiedenen Staubfänger). Die sächlichen Ausgaben für Strom, Putz- und Schmiermaterialien betragen etwa 35 ₰ für die Betriebsstunde. Die gesamten **Betriebskosten** haben (einschließlich Personal und 15 v. H. Tilgung) anteilmäßig für Kabelzwecke in einem Jahr für das ganze Hamburger Kabelnetz mit einem Werte von etwa 25 Millionen Mark rund 4000 ℳ betragen. Diese Aufwendung ist gering gegenüber den Vorteilen und den oft erzielten wesentlichen Ersparnissen.

Das Druckluftverfahren.

Für die nachfolgende Darstellung [1]) der einzelnen Arbeiten ist aus rein äußerlichen Gründen das hierfür infolge seiner Einfachheit besonders geeignete

[1]) Zu vgl. Aufsatz des Verfassers über „Prüfungen an Fernsprechkabeln"; Blätter für Post und Telegraphie, Berlin, 1908, Heft 22 bis 24.

transportabele **Berliner System** gewählt worden. Zum Schluß sollen dann noch einige ergänzende Hinweise über die Hamburger Anlage gemacht werden.

Abb. 156 zeigt als einfachsten Fall die Prüfung eines aufgetrommelten Kabels. Nachdem die mit trockener Luft gefüllte Stahlflasche mit einem Anschlußstutzen (Abb. 153) an das durch eine Bleikappe verschlossene Kabelende angeschlossen worden ist, wird die Preßluft durch langsames Öffnen der Ventile vorsichtig in das Kabel eingelassen. Hierbei muß das Niederdruckmanometer dauernd beobachtet werden, da der Überdruck nicht höher als auf $1^1/_2$ Atmosphären ansteigen soll. Die Füllungszeit eines Kabels ist je nach dessen Länge und Beschaffenheit verschieden und beträgt etwa $^1/_4$ bis



Abb. 156.

1 Stunde. Nach der Anfüllung des Kabels wird die Luftzufuhr wieder abgeschnitten und das Manometer weiter beobachtet. Man wird jetzt zunächst an dem ein wenig zurückgehenden Zeiger einen allmählichen Ausgleich der Preßluft im Kabel bemerken. Auf gute Beschaffenheit des Kabels kann aber erst dann geschlossen werden, wenn der Zeiger nach dem ersten, mäßigen Rückgang seinen Stand in ausreichender Höhe gleichmäßig beibehält. Entweicht nach der Manometeranzeige die Luft aus dem Kabel, so wird es unter Anwendung dauernden Luftdruckes vorsichtig von der Trommel abgerollt

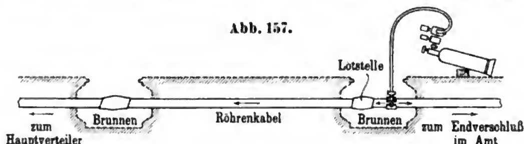


Abb. 157.

und in Schleifen ausgelegt; dabei werden die Stellen, an denen Luft ausbläst, bezeichnet. Alsdann wird nach Abschluß der Flasche die Luft aus dem Kabel ausgelassen, die Fehlerstelle verlötet und darauf das Kabel wieder mit Luft gefüllt. Die Stahlflasche bleibt auch während des nun folgenden Wiederauftrommelns geöffnet an das Kabel angeschlossen, damit keine undichte Stelle übersehen und zugleich festgestellt werden kann, daß die neuen Verlötungen beim Aufwickeln nicht leiden, also eine Gewähr dafür bieten, daß sie auch die Inanspruchnahme auf Zug und Biegung bei der späteren Wiederverwendung des Kabels aushalten werden.

Die Prüfung eines im Betriebe befindlichen undichten Kabels erfolgt in ähnlicher Weise, indem der Anschlußstutzen am Kabelanfang, z. B. im Einführungsbrunnen, auf die Kabel aufgesetzt wird. **Abb. 157** stellt einen solchen Vorgang dar. Sobald beobachtet wird, daß Luft aus dem

Kabel entweicht, werden zunächst das Auslaßventil und auch der Endverschluß im Amte abgehorcht. Ist hier alles in Ordnung befunden worden, oder sind — bei abgeschalteter Druckluft — vorhandene Fehler beseitigt, wird aber trotzdem noch ein weiteres Ausströmen der Luft festgestellt, so werden die Kabelbrunnen auf der ganzen Kanalstrecke der Reihe nach geöffnet und die Lötstellen und der Bleimantel genau besichtigt. Gröbere Fehler, die auch sofort am Manometer erkennbar sind, werden bald gefunden. Bei kleineren Rissen muß man sich hauptsächlich auf die Prüfung durch das Gehör verlassen, indem man die Brunnen abhorcht. An solchen Fehlerstellen erzeugt nämlich die ausströmende Druckluft einen meist deutlich vernehmbaren, pfeifenden Ton. Ist jedoch ein Ausblasen von Luft nicht zu hören, so empfiehlt es sich, versuchsweise die Lötstellen und Bleimäntel in den Brunnen — wo in der Regel die Fehler liegen — mit Seifenwasser zu benetzen und dann zu beobachten, wo sich Blasen bilden. Die erste gefundene Fehlerstelle wird fest mit Isolierband gedichtet. Läßt sich nach dem Stande des Manometers darauf schließen, daß noch weitere Fehler vorhanden sind, so müssen diese zunächst noch in gleicher Weise gesucht und verschlossen werden, bis keine Luft mehr ausbläst. Zur Beseitigung der Beschädigungen wird dann die Druckluft aus dem Kabel abgelassen, da sonst die Verlötungen — meistens genügen einfache Bleipflaster — nicht haltbar hergestellt werden können.

Ist die Fehlerstelle annähernd bekannt, so kann man die Luft auch in einem Brunnen in der Nähe des vermutlichen Fehlerortes einlassen. Die Druckluft strömt alsdann nach zwei Seiten, doch wird ein Abhorchen der benachbarten Brunnen schon meistens zum Ziele führen. Im allgemeinen ist aber die Prüfung vom Kabelanfang aus vorzuziehen.

Zur leichteren Ermittelung der örtlichen Lage gröberer Fehler, namentlich in langen Kabeln — in geeigneten Fällen auch in Erdkabeln —, ist ein besonderes Verfahren mit gutem Erfolge ausgebildet worden. In ausgemessenen Abständen von etwa 500 bis 1000 m werden luftdicht auf die Bleihülle oder auf die Lötmuffen vom Anfang bis zum Ende des Kabels Manometer aufgesetzt. Darauf wird am Anfang Druckluft eingelassen und der Stand sämtlicher Manometerzeiger gleichzeitig abgelesen. Die Kabellängen und Manometerablesungen werden in ein rechtwinkliges Koordinatensystem als Abscissen und Ordinaten eingetragen, die Verbindungslinie der Ordinatenendpunkte schneidet dann die Abscissenachse an derjenigen Stelle, welche der Entfernung der Fehlerstelle vom Kabelanfang entspricht.

Bei größeren Bleimantelschäden ist stets zu befürchten, daß durch die an der Fehlerstelle eindringende Feuchtigkeit der Betrieb in sämtlichen Adern des Kabels gestört wird. Die beschleunigte Feststellung und Beseitigung der Fehler ist daher mit allen Mitteln anzustreben. Soweit möglich, sind zunächst die Betriebsadern in andere Kabel umzuschalten. Liegt die Fehlerstelle in einem Kanalrohr, so muß das betreffende Kabelstück gegen ein betriebsfähiges ausgewechselt und das ganze Kabel nach Auspleißung des Ersatzstückes zunächst wieder gemessen und mit Druckluft geprüft werden.

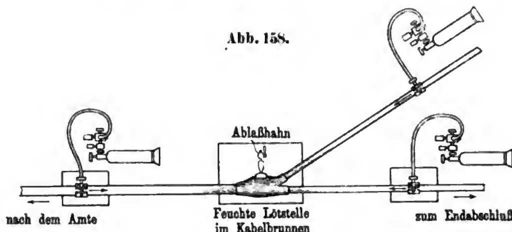
Für die regelmäßigen Prüfungen vom Amte aus sind an den Kabeln feste Einrichtungen erforderlich, da sonst die Bleimäntel und auch die Kabel selbst durch die wiederholte Herstellung der Einlaßöffnungen gefährdet sind. Zu diesem Zwecke werden in Berlin auf die Bleimäntel der neu verlegten

Kabel im Kabelkeller — aber jedenfalls unterhalb des tiefsten Punktes der das Kabelende abschließenden Isoliermasse (S. 288) — Anschlußstutzen (siehe Abb. 153) fest aufgelötet und für gewöhnlich durch Verschlußkapseln geschlossen gehalten. Die älteren Kabel sollen nach und nach in gleicher Weise hergerichtet werden. Die Prüfung selbst findet in der vorher geschilderten Weise statt. Die Zeit, während der die Kabel nach dem Füllen unter Druck gehalten werden müssen, um ein hinreichend sicheres Urteil über ihren Zustand zu erlangen, ergibt die Erfahrung.

Auch für neu verlegte Kabel wird neuerdings in Berlin allgemein die Druckluftprüfung angewendet. Hierzu werden auf die beiden Enden der Kabel Manometer mit Anschlußstutzen aufgesetzt, und dann wird von einem Ende die Preßluft mit 1 Atm. Überdruck in die Kabel eingelassen. Wenn der Druck sich an beiden Seiten etwa innerhalb 10 Stunden nicht ändert, so werden die Kabel als gut angesehen. Hierauf folgen die Schlußmessungen.

Für Erdkabel ist eine Prüfung mit Druckluft nur so weit zweckmäßig, als dadurch überhaupt das Vorhandensein von Undichtigkeiten festgestellt

Abb. 158.



werden kann, eine örtliche Eingrenzung ist nur in beschränkter Weise möglich; Voraussetzung ist aber, daß die Lötmuffen nicht mit Isoliermasse angefüllt sind.

Soll eine feuchte Stelle im Kabel mit Druckluft getrocknet werden, so wird in der Regel folgendermaßen vorgegangen: Zu beiden Seiten der durchnäßten Stelle wird eine Flasche mit Druckluft an das Kabel angelegt, außerdem wird über der Fehlerstelle auf dem Bleimantel ein Ablaßhahn luftdicht angebracht. Aus den geöffneten Flaschen heraus wird alsdann die trockene Luft über die durchnäßte Stelle streichen, sich dort mit Feuchtigkeit durchsetzen und aus dem ebenfalls geöffneten Ablaßhahn ausblasen. Der Stand der Trocknung wird von Zeit zu Zeit mit einem Hygrometer festgestellt. Mit der fortschreitenden Trocknung kann dann eine bessere Ausnutzung der Trockenluft noch dadurch erreicht werden, daß der Luftstrom durch zeitweiliges Schließen des Ablaßhahnes verlangsamt und aufgehalten wird und dadurch Gelegenheit findet, reichlicher Feuchtigkeit aufzunehmen. Außerdem wird die Luftzufuhr am Absperrhahn der Flasche je nach dem Stande der Trocknung reguliert. In dieser Weise wird fortgefahren, bis in der ausströmenden Luft Feuchtigkeit nicht mehr nachgewiesen werden kann.

Es hat sich weiterhin als sehr zweckmäßig erwiesen, während des Durchganges der Druckluft den Bleimantel des Kabels — unter genügender Vorsicht — von außen kräftig mit Lötlampen anzuwärmen, die Trocknung kann hierdurch wesentlich beschleunigt werden.

Abb. 158 stellt eine solche Kabeltrocknung für eine feuchte Lötstelle dar; die Druckluft ist hier an jede einzelne Abzweigung angelegt, damit nicht aus der Lötstelle heraus Feuchtigkeit in einen Kabelzweig getrieben werden kann.

Die Hygrometerprüfung der ausströmenden Luft ist jedoch allein noch kein sicheres Mittel, um festzustellen, ob das Kabel tatsächlich vollständig trocken ist. Der Trocknungsprozeß muß deshalb noch durch Prüfung mit einem geeigneten Meßinstrument zur Feststellung der Isolation der Kabeladern unterstützt werden. Auf diese Weise läßt sich durch Zusammenwirken von Druckluftverfahren und Meßverfahren der betriebsfähige Zustand eines durchnäßten Kabels sicher wiederherstellen und nachweisen.

Will man eine bereits ziemlich stark durchfeuchtete Kabelstelle mit Druckluft trocknen, so empfiehlt sich die Anwendung eines etwas verstärkten Druckes, um das Wasser durch einen kräftigeren Luftstrom aus dem Kabel herauszutreiben (zu vgl. S. 325). Die relative Anreicherung der Druckluft mit Feuchtigkeit ist dabei allerdings geringer, doch erzielt man durch den höheren Druck meistens schneller einen Erfolg. Auch die Trocknung stark durchnäßter Lötstellen mit Holzkohlenfeuer kann durch gleichzeitige Anwendung von Druckluft, und zwar möglichst von beiden Seiten, beschleunigt werden, besonders wenn man auch in solchen Fällen gleichzeitig das Kabel auf die erreichbare Länge von außen mit einer Lötlampe anwärmt.

Wie oben (S. 324) schon bemerkt wurde, kann bei kleinen Fehlern, die sich z. B. bei den Abnahmemessungen herausstellen, bereits das Durchdrücken trockener Luft durch das ganze Kabel von seinem Anfange aus guten Erfolg haben, ohne daß es zunächst einer näheren Feststellung der Fehlerstelle bedarf. Die geringe Menge verdampfender Feuchtigkeit wird dabei nach und nach, ohne Beeinträchtigung der Isolation des Kabels, entfernt. Die Druckluft wird im Amte in das Kabel eingelassen und am Ende durch eine, an passender Stelle hergestellte, ausreichend große Öffnung ausgeblasen, bis das Meßinstrument wieder genügende Isolation anzeigt.

Der auf S. 333 kurz beschriebene Lufterwärmungsapparat hat bisher noch keinen großen praktischen Erfolg auf der Strecke erzielt. Die Verwendung erhitzter Luft zur Trocknung von Kabeln steckt noch in den Anfängen, und es werden noch manche Schwierigkeiten zu überwinden sein, bis das Verfahren zur allgemeinen Verwendung durchgebildet sein wird. Immerhin haben aber die bisherigen Versuche doch schon manche wertvolle Hinweise gegeben. So z. B. trat die im Ofen bis auf 350° C erwärmte Luft durch einen 5 m langen, dick mit Asbest und Filz umpreßten Schlauch zwar noch mit einer Temperatur von 160° C in das Kabel. Es ergab sich jedoch, daß die Luft bereits an einem 1 m hinter der Einlaßstelle aufgesetzten Ablaßhahn nur noch mit etwa 25° C entwich. Diese geringe Temperaturerhöhung, deren Ursache bereits früher (S. 325) erörtert worden ist, kann naturgemäß eine wesentliche Beschleunigung der Verdunstung vorhandener Feuchtigkeit nicht herbeiführen. Das Ergebnis wurde etwas besser, als auch das Kabel

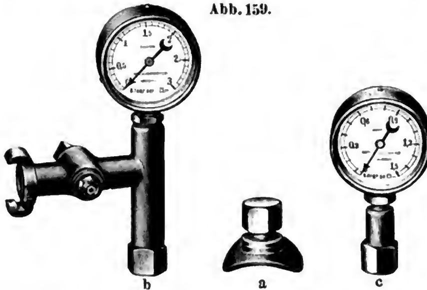
von außen noch vorsichtig mit Lötlampe angewärmt wurde. Der Erfolg könnte vielleicht günstiger sein, wenn man von zwei Seiten erhitzte Luft, und zwar möglichst unmittelbar neben der Fehlerstelle, einlassen und dann außerdem noch die nasse Stelle von außen anwärmen würde. Dadurch würde wahrscheinlich ein zu großer Wärmeabgang durch die Leitungsdrähte und den Bleimantel des Kabels vermieden und die Feuchtigkeit aus der durchnäßten Stelle sozusagen ausgekocht und sofort herausgetrieben werden; hierbei könnte auch wohl durch abwechselndes Schließen und Öffnen eines aufgesetzten Ablaßhahnes eine noch schnellere Wirkung erzielt werden. Die Berliner Erwärmungsvorrichtung ist jedoch zu mehrfacher Abnahme erhitzter Luft nicht eingerichtet. Ihre Verwendung an den Fehlerstellen ist auch noch zu sehr durch die Umständlichkeit des Transportes und die Größenverhältnisse der Anlage beschränkt. Ein wirtschaftlich günstiges und praktisch brauchbares Ergebnis der Verwendung erhitzter Luft zur Trocknung von Kabeln ist aber erst dann zu erwarten, wenn es gelungen sein wird, einen Schlauch zu konstruieren, der eine derartig geringe Wärmeausstrahlung besitzt, daß die Erhitzung der Druckluft nicht wesentlich höher getrieben zu werden braucht, als die im Kabel zulässige Temperatur beträgt. Je geringer die Abkühlung der Luft in dem Schlauch ist, um so niedriger werden die Heizungskosten sein und um so weniger ist der Schlauch selbst einer Zerstörung durch die heiße Luft ausgesetzt. Auch wird weiter dahin zu streben sein, durch eine andere Konstruktion des Erwärmungsapparates die jetzigen hohen Transportkosten zu ermäßigen. Andererseits bleibt jedoch zu berücksichtigen, daß bei gehöriger äußerer Erwärmung des Bleimantels vielleicht schon die kalte Druckluft ausreichende Ergebnisse liefern wird, zumal durch eine Abkühlung der vorher erhitzten Luft sogar ein Weitertransport der Feuchtigkeit begünstigt werden kann, wie bereits auf S. 325 angedeutet worden ist.

Grundsätzliche Abweichungen von dem Berliner System zeigen die Hamburger Drucklufteinrichtungen im Betriebe nicht. Es ist aber zu berücksichtigen, daß die ortsfeste Anlage naturgemäß nur das Einlassen der Druckluft am Kabelanfange gestattet. Für Prüfungen und Fehlerbeseitigungen auf der Strecke wird daher die fahrbare Station verwendet.

In Hamburg haben sämtliche vom Amt ausgehenden Stammkabel etwa 90 m vor der vergossenen Abschlußlötstelle im Umschalteraum ihre erste unvergossene Bleimuffenlötstelle im allgemeinen Einführungskabelbrunnen vor dem Amte. Auf jede dieser Lötstellen ist über einer entsprechenden Öffnung ein Gewindefuß nach **Abb. 159** a aufgelötet, dessen Öffnung durch eine aufgeschraubte Überfallmutter mit Bleidichtungsscheibe luftdicht verschlossen ist. Außerdem ist noch am anderen Ende jedes Kabels die letzte Lötstelle mit einem gleichartigen Gewindefuß versehen. Die Hamburger Prüfungen werden grundsätzlich mit Manometern an beiden Kabelenden ausgeführt. Zu diesem Zweck wird am Außenende an Stelle der Mutter (Abb. 159 a) ein Manometer (Abb. 159 c) aufgeschraubt. Wenn keine groben Fehler vorliegen, soll der Überdruck am Ende des Kabels normalerweise etwa 0,5 Atm. betragen, alsdann kann das Kabel als ausreichend dicht betrachtet werden. Zur Einführung der Luft in das Kabel wird auf die erste

Lötstelle ein Anschlußstutzen (Abb. 159 b) aufgeschraubt und der Druckluftschlauch einerseits an diesen Stutzen und andererseits an eine Zapfstelle (Abb. 155) der Druckluftrohrleitung angeschlossen. Kann nach den Manometeranzeigen nach einiger Zeit auf das Vorliegen nur eines geringen Fehlers geschlossen werden, so wird die Druckluft im Kabel abgesperrt, um festzustellen, ob und wie lange sich der Druck im Kabel hält; hierzu wird der in Abb. 159 b ersichtliche Hahn am Anschlußstutzen umgestellt. Das Manometer am Kabelanfang zeigt entsprechend der Einrichtung der Hamburger

Abb. 159.



Luftzubereitungsanlage zunächst etwa 3 Atm., dasjenige am Ende, wie bereits erwähnt, 0,5 Atm. Überdruck. Würde das Kabel absolut dicht sein, so wäre nach einiger Zeit durch Ausgleich des Druckes im ganzen Kabel an beiden Seiten ein mittlerer Überdruck von ungefähr 1,5 Atm. vorhanden. Daß dieser Gleichgewichtszustand aber nicht eintreten wird, ist bereits auf S. 328 erörtert worden; der Druck fällt nach erstmaligem Ansteigen allmählich an beiden Seiten ab. Doch läßt sich durch längere Erfahrung selbst bei diesem, an sich unvollkommenen Abdichtungszustand nach gewisser Zeit ein Urteil darüber bilden, ob das Kabel ausreichend dicht ist. Zur örtlichen Eingrenzung von Bleimantel- und Lötstellenfehlern wird in Hamburg bei gröberen Fehlern in langen Kabeln namentlich das auf S. 339 erwähnte Verfahren mit mehreren Manometern angewendet.

NAMEN- UND SACHREGISTER[1].

---

[1]) Soweit bei den einzelnen Stichworten mehrere Seitenangaben vorhanden sind, bezieht sich die **fett** gedruckte Zahl auf die wesentlichste Erwähnung oder Darstellung des Gegenstandes; doch sind auch auf den übrigen angegebenen Seiten noch andere ergänzende oder erläuternde Bemerkungen vorhanden.

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Elektrotechnik in Einzeldarstellungen.

Unter Mitwirkung hervorragender Fachgenossen herausgegeben von

Dr. Gustav Benischke.

Bisher erschienen:

1. Heft: **Die Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik gegen atmosphärische Entladungen** von Dr. Gustav Benischke. Mit 43 Abbild. Preis geh. ℳ 1,20, geb. ℳ 1,60.

Zeitschrift für Elektrotechnik: . . . Wenn alle übrigen Hefte dieses Sammelwerkes die gleiche gedrängte und dennoch für den angestrebten Zweck vollständig hinreichende Darstellung des reichhaltigen Stoffes aufweisen, dann wird dasselbe zweifellos gesucht sein.

2. Heft: **Der Parallelbetrieb von Wechselstrommaschinen** von Dr. G. Benischke. Mit 43 Abbildungen. Preis geh. ℳ 1,20, geb. ℳ 1,60.

Deutsche Industrie-Zeitung: . . . Neuartig ist auch das zweite Bändchen mit einer systematischen Darstellung der eigentümlichen Verhältnisse, insbesondere der Störungen, die beim Parallelbetrieb von Wechselstrommaschinen vorkommen. Das „Pendeln“ und „Außertrittfallen“ solcher Maschinen war noch bis vor kurzem eine Erscheinung, die den Elektrotechnikern öfters Überraschungen und zwar höchst unangenehmer Art bereitete.

3. Heft: **Die Grundgesetze der Wechselstromtechnik** von Dr. Gustav Benischke. Mit 113 Abbildungen. Preis geh. ℳ 3,60, geb. ℳ 4,20.

Zeitschrift für Elektrotechnik: . . . Insbesondere ist die Art der Darstellung hervorzuheben, die vom einfachsten Fall ausgeht, die physikalische Erscheinung eingehend erörtert, die mathematische Behandlung aufs Notwendigste beschränkt und mehr Wert auf das Verständnis als auf Berücksichtigung aller Nebenerscheinungen legt.

4. Heft: **Die vagabundierenden Ströme elektrischer Bahnen** von Dr. Carl Michalke. Mit 34 Abbildungen. Preis geh. ℳ 2,50, geb. ℳ 3,—.

Elektrotechnische Zeitschrift: Das 4. Heft der rühmlichst bekannten Benischkeschen Sammlungen von Sonder-Abhandlungen aus der Elektrotechnik ragt weit über das Niveau einer bloßen Monographie heraus. Herr Dr. Michalke hat in diesem Buche auf Grund einer souveränen Beherrschung des gesamten Materials, das über die Erdströme elektrischer Bahnen bisher vorliegt, in knapper, überaus klarer Form eine Arbeit geschaffen, die als wertvollster Kommentar für das Verständnis der Motive aller der verschiedenen sicherheitstechnischen Bahn-Regulative usw. gelten muß.

5. Heft: **Die asynchronen Drehstrommotoren, ihre Wirkungsweise, Prüfung und Berechnung** von Dr. Gustav Benischke. Mit 2 farbigen Tafeln und 112 Abbildungen. Preis geh. ℳ 5,50, geb. ℳ 6,—.

Elektrotechnische Zeitschrift: . . . Das Buch ist durchweg flüssig und leicht verständlich geschrieben. . . . Der Studierende wird aus der eleganten Art, in der bald die Kraftfelder selbst, bald die Selbstinduktionskoeffizienten eingeführt werden, lernen, beide Methoden gleichzeitig zu erfassen.

6. Heft: **Die elektrischen Bogenlampen, deren Prinzip, Konstruktion und Anwendung** von J. Zeidler. Mit 130 Abbildungen und 1 Kurventafel. Preis geh. ℳ 5,50, geb. ℳ 6,—.

Elektrotechnik und Maschinenbau: . . . Das Werk wird seiner Aufgabe durchaus gerecht und kann wärmstens empfohlen werden. Lob verdient auch die gute Ausstattung, insbesondere die ungewöhnlich klaren und schönen Abbildungen.

7. Heft: **Aufnahme und Analyse von Wechselstromkurven** von Prof. Dr. Ernst Orlich. Mit 71 Abbildungen. Preis geh. ℳ 3,50, geb. ℳ 4,—.

Elektrische Bahnen und Betriebe: Dieser neue Band der Benischkeschen Sammlung „Elektrotechnik in Einzeldarstellungen“ stellt eine wichtige Bereicherung unserer Literatur dar. Von welcher praktischen Bedeutung das hier behandelte Gebiet ist, wird durch ein Beispiel recht einleuchtend, von dem erst jüngst in der Fachpresse berichtet wurde; es handelte sich um eine unerträgliche Lärmerscheinung, die an Bogenlampen beobachtet wurde, die an ein gewisses größeres Drehstromnetz angeschlossen waren. Als Ursache ergab sich, daß die Spannungskurve einen überaus unglücklichen Verlauf hatte, insofern, als durch ungünstige Nutung des Generators Obertöne in der Welle enthalten waren, deren hoher Puls das bekannte Tönen des Lichtbogens hervorrief. Um so verdienstvoller ist daher die vorliegende Arbeit, die die Literatur nicht bloß sammelt und sichtet, sondern auch selbständig durchdringt, da der Verfasser durch eigene theoretische und experimentelle Arbeiten auf diesem Gebiete die Schwierigkeiten kennt wie wenig andere.


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06722 2458